

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra výrobních strojů a konstruování**

**Zahušťovač papírenské vodolátky**  
**Thickener of the Pulp Water Substance**

**Student:**

**Bc. Tomáš Zbránek**

**Vedoucí diplomové práce:**

**Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.**

**Ostrava 2013**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Zbránek**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: **Zahušťovač papírenské vodolátky**  
**Thickener of the Pulp Water Substance**

### Zásady pro vypracování:

Pro uzly zahušťování vláknitých suspenzí v linkách připraven látky Papcel navrhnete odvodňovací stroj kruhový. Daný stroj bude vyplňovat technologicko - kapacitní prostor mezi stávajícími stroji OK-1500 a OK-4000. Konstrukční řešení optimalizujte s ohledem na maximální možnou úsporu výrobního materiálu, modernizaci hlavních částí stroje jako je vana, síťový buben a snímací zařízení pro bezproblémové odvedení zahuštěné látky. Veškeré díly a plochy přicházející do styku s látkou řešte v nerezovém provedení, ostatní díly budou vyrobeny z konstrukční oceli.

### Vypracujte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného rámu se všemi nezbytnými výpočty.
2. Konstrukční návrh zahušťovače papírenské vodolátky a snímacího zařízení.
3. Pevnostní kontrolu důležitých uzlů.
4. Detailní výrobní výkres vany, síťového bubnu a snímacího válce.

### Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910. *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.  
Leinveber, J., Řasa, J., Vávra, P. *Strojnické tabulky*. 3. vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s. ISBN 80-7183-164-6.  
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.  
Literární rešerše zpracovaná v rámci Diplomového projektu  
Firemní podklady.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

Tomáš Zárka

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2013 .....

Tomáš Zbránek .....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Zbránek

Adresa trvalého pobytu autora práce: K.H.Máchy 18, 787 01 Šumperk

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

ZBRÁNEK, T. *Zahušťovač papírenské vodolátky: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 79 s, Vedoucí práce: Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem a popisem funkce zahušťovače papírenské vodolátky. Dle zadaných parametrů byl navržen, vymodelován a nakreslen odvodňovací stroj, který bude použit v linkách přípravy látky firmy Papcel. Úvodní část diplomové práce je věnována technologii výroby papíru a přípravy látky, přičemž jsou v textu uvedeny i příklady umístění stroje do výrobních linek. V následujících kapitolách je popsáno konstrukční provedení jednotlivých částí stroje - vany, síťového bubnu, snímacího válce a dalších. Závěrečná část práce je výpočtová. Byly provedeny výpočty pro návrh pohonu a kontrolní výpočty, zaměřené na pevnostní kontrolu hřídele síťového bubnu, snímacího válce, pera a výpočty životnosti ložisek.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

ZBRÁNEK, T. *Thickener of the Pulp Water Substance: master thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2013, 79 p, Thesis head: Ing. Oldřich Učeň, Ph.D.

This master thesis deals with the design and description of drum thickener. According to the specified parameters was designed, modeled and drawn dewatering machine that will be used in Papcel stock preparation lines. The introductory part of the thesis is focused on the technology of paper production and preparation of substances, which are indicated by the examples of placement machine in production lines. In the following chapters is described design of the individual machine parts - tank, drum, sensing cylinders and others. The final part is concern on calculations. Those were performed for the design of drive and control calculations, focusing on the analysis of the drum shaft, sensing cylinders, springs and bearing life calculations.

## Obsah

<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Technologie výroby papíru.....</b>	<b>12</b>
2.1 Výroba a zpracování pololátek.....	12
2.1.1 Suroviny pro výrobu pololátek.....	13
2.1.2 Příprava vlákniny ke zpracování .....	14
2.1.3 Výroba buničiny .....	15
2.1.4 Výroba dřevoviny.....	17
2.1.5 Výroba hadroviny.....	18
2.1.6 Zpracování sběrového papíru .....	19
2.2 Výroba papíru.....	20
2.2.1 Rozvláknění pololátek.....	20
2.2.2 Mletí pololátek .....	21
2.2.3 Plnění, klížení a barvení papíroviny.....	22
2.2.4 Míchání papíroviny .....	23
2.2.5 Výroba papíru na papírenských strojích.....	23
2.2.6 Dodatečná úprava papíru.....	25
<b>3. Funkce a popis zahušťovače.....</b>	<b>26</b>
3.1 Popis funkce .....	26
3.2 Příklady zapojení stroje do výrobních linek.....	28
3.2.1 Jemné šterbinové třídění.....	28
3.2.2 Zpracování nápojových obalů .....	29
3.3 Jednotlivé části stroje .....	30
3.3.1 Vana .....	30
3.3.2 Sítový buben.....	31
3.3.3 Snímací zařízení .....	32

3.3.4 Přepadová nádrž .....	33
3.3.5 Ostřiková trubka .....	33
<b>4. Výpočtová část .....</b>	<b>34</b>
4.1 Návrh pohonu .....	34
4.1.1 Třecí moment v ložiskách .....	34
4.1.2 Moment pro překonání pásového tření na těsnění bubnu .....	38
4.1.3 Moment pro zrychlení rotujících hmot.....	40
4.1.4 Jmenovitý moment .....	41
4.1.5 Rozběhový moment.....	41
4.1.6 Minimální výkon elektromotoru .....	42
4.1.7 Volba elektromotoru .....	42
4.1.8 Záběrový moment .....	42
4.2 Pevnostní kontrola.....	44
4.2.1 Hřídelové čepy snímacího válce .....	44
4.2.2 Hřídel síťového bubnu .....	53
4.2.3 Kontrola pera.....	67
4.2.4 Kontrola životnosti ložisek síťového bubnu .....	70
4.2.5 Kontrola životnosti ložisek snímacího válce.....	71
4.2.6 Pevnostní kontrola vany .....	72
<b>5. Závěr.....</b>	<b>75</b>
<b>6. Použitá literatura.....</b>	<b>76</b>
<b>7. Seznam příloh .....</b>	<b>79</b>

## Seznam použitých zkratk a symbolů

Značení	Význam	Jednotka
<i>Al</i>	hliník	[-]
<i>OK</i>	odvodňovací stroj kruhový	[-]
<i>PET</i>	polyethylentereftalát	[-]
<i>pH</i>	vodíkový exponent	[-]
<i>PVC</i>	polyvinylchlorid	[-]
<i>SR</i>	Schopper-Riegler (stupeň mletí)	[°]
<i>STV</i>	sítový třídič vířivý	[-]
<i>SVS</i>	spirální vířivý separátor	[-]
<i>a</i>	vzdálenost mezi osami snímacího válce a sítového bubnu	[m]
<i>a<sub>1</sub></i>	součinitel spolehlivosti	[-]
<i>b</i>	šířka pera	[mm]
<i>b<sub>t</sub></i>	šířka těsnění	[mm]
<i>C</i>	základní dynamická únosnost	[N]
<i>d<sub>sb</sub></i>	průměr čepu sítového bubnu u ložiska	[mm]
<i>D<sub>sb</sub></i>	průměr sítového bubnu	[mm]
<i>d<sub>sb1</sub></i>	průměr hřídele sítového bubnu v průřezu I.	[mm]
<i>d<sub>sb1v</sub></i>	výpočtový průměr hřídele sítového bubnu v průřezu I.	[mm]
<i>d<sub>sb2</sub></i>	průměr hřídele sítového bubnu v průřezu II.	[mm]
<i>d<sub>sb3</sub></i>	průměr hřídele sítového bubnu v průřezu III.	[mm]
<i>d<sub>sb4</sub></i>	vnitřní průměr hřídele sítového bubnu v průřezu IV.	[mm]
<i>D<sub>sb4</sub></i>	vnější průměr hřídele sítového bubnu v průřezu IV.	[mm]
<i>d<sub>sb5</sub></i>	průměr hřídele sítového bubnu v průřezu V.	[mm]
<i>d<sub>sb6</sub></i>	průměr hřídele sítového bubnu v průřezu VI.	[mm]
<i>d<sub>sb7</sub></i>	průměr hřídele sítového bubnu v průřezu VII.	[mm]
<i>d<sub>sv</sub></i>	průměr čepu snímacího válce u ložiska	[mm]
<i>D<sub>sv</sub></i>	průměr snímacího válce	[mm]
<i>d<sub>sv1</sub></i>	průměr čepu snímacího válce v průřezu I.	[mm]
<i>d<sub>sv2</sub></i>	průměr čepu snímacího válce v průřezu II.	[mm]
<i>d<sub>sv3</sub></i>	průměr čepu snímacího válce v průřezu III.	[mm]
<i>d<sub>sv4</sub></i>	vnitřní průměr čepu snímacího válce v průřezu IV.	[mm]
<i>D<sub>sv4</sub></i>	vnější průměr čepu snímacího válce v průřezu IV.	[mm]
<i>d<sub>sv5</sub></i>	průměr čepu snímacího válce v průřezu V.	[mm]
<i>D<sub>t</sub></i>	těsnicí průměr	[mm]
<i>E</i>	modul pružnosti	[GPa]
<i>F<sub>1</sub></i>	tlaková síla	[N]
<i>F<sub>2</sub></i>	tlaková síla	[N]
<i>F<sub>g</sub></i>	gravitační síla	[N]
<i>F<sub>ph</sub></i>	hydrostatická tlaková síla	[N]



$F_{př}$	přítlačná síla	[N]
$F_s$	smyková síla	[N]
$F_t$	třecí síla	[N]
$F_{te}$	třecí těsnící síla	[N]
$F_{vz}$	vztlaková síla	[N]
$G_m$	tíha elektromotoru	[N]
$G_{sb}$	tíha síťového bubnu	[N]
$G_{sv}$	tíha snímacího válce	[N]
$h$	hloubka ponořeného bubnu	[mm]
$i$	převodový poměr	[-]
$I_{xc}$	celkový moment setrvačnosti	[kg.m <sup>2</sup> ]
$I_{xsb}$	kvadratický moment setrvačnosti síťového bubnu	[kg.m <sup>2</sup> ]
$I_{xsv}$	kvadratický moment setrvačnosti snímacího válce	[kg.m <sup>2</sup> ]
$k_d$	součinitel zahrnující dynamické požadavky	[-]
$k_{s1}$	součinitel bezpečnosti v průřezu I.	[-]
$k_{s2}$	součinitel bezpečnosti v průřezu II.	[-]
$k_{s3}$	součinitel bezpečnosti v průřezu III.	[-]
$k_{s4}$	součinitel bezpečnosti v průřezu IV.	[-]
$k_{s5}$	součinitel bezpečnosti v průřezu V.	[-]
$k_{s6}$	součinitel bezpečnosti v průřezu VI.	[-]
$k_{s7}$	součinitel bezpečnosti v průřezu VII.	[-]
$l$	délka ramena ohybu	[mm]
$l$	délka pera	[mm]
$L_1$	modifikovaná trvanlivost ložiska	[h]
$L_{10h}$	trvanlivost ložiska	[h]
$M_{cč}$	celkový moment čepového tření	[N.m]
$M_{čsb}$	moment čepového tření síťového bubnu	[N.m]
$M_{čsv}$	moment čepového tření snímacího válce	[N.m]
$M_h$	moment pro zrychlení rotujících hmot	[N.m]
$M_j$	kmenovitý moment	[N.m]
$M_k$	výpočtový krouticí moment	[N.m]
$m_m$	hmotnost elektromotoru	[kg]
$M_o$	ohybový moment	[N.m]
$m_{sb}$	hmotnost síťového bubnu	[kg]
$m_{sv}$	hmotnost snímacího válce	[kg]
$M_t$	třecí moment	[N.m]
$M_v$	výstupní moment	[N.m]
$M_z$	záběrový moment	[N.m]
$n$	otáčky hřídele a síťového bubnu	[min <sup>-1</sup> ]
$n_{pm}$	požadované otáčky elektromotoru	[min <sup>-1</sup> ]
$N_{sb}$	normálová síla síťového bubnu	[N]
$n_{sv}$	otáčky snímacího válce	[min <sup>-1</sup> ]

$N_{sv}$	normálová síla snímacího válce	[N]
$P$	ekvivalentní dynamické zatížení	[N]
$p$	exponent Wöhelrovy křivky	[-]
$P_1$	tlak	[MPa]
$P_2$	tlak	[MPa]
$P_D$	dovolený tlak	[MPa]
$p_h$	hydrostatický tlak	[MPa]
$P_m$	minimální výkon elektromotoru	[kW]
$q_m$	liniové spojitě zatížení elektromotoru	[N.mm <sup>-1</sup> ]
$q_{sb}$	liniové spojitě zatížení síťového bubnu	[N.mm <sup>-1</sup> ]
$q_{sv}$	liniové spojitě zatížení snímacího válce	[N.mm <sup>-1</sup> ]
$R_{ax}$	silová reakce v bodě A a ose X	[N]
$R_{ay}$	silová reakce v bodě A a ose Y	[N]
$R_{ay\_SB}$	silová reakce v bodě A síťového bubnu	[N]
$R_{ay\_SV}$	silová reakce v bodě A snímacího válce	[N]
$R_b$	silová reakce v bodě B a ose Y	[N]
$R_{b\_SB}$	silová reakce v bodě B síťového bubnu	[N]
$R_{b\_SV}$	silová reakce v bodě B snímacího válce	[N]
$R_e$	mez kluzu	[MPa]
$R_m$	mez pevnosti	[MPa]
$S_t$	plocha těsnění	[mm <sup>2</sup> ]
$t$	tloušťka pera v hřídeli	[mm]
$t_l$	tloušťka pera v náboji	[mm]
$t_r$	čas pro rozběh elektromotoru	[s]
$V_{psb}$	objem ponořené části bubnu	[m <sup>3</sup> ]
$W_k$	modul průřezu v krutu	[mm <sup>3</sup> ]
$W_o$	modul průřezu v ohybu	[mm <sup>3</sup> ]
$\alpha_{\sigma 0}$	součinitel koncentrace napětí pro daný průřez	[-]
$\eta$	účinnost mechanismu	[%]
$\mu$	součinitel smykového tření	[-]
$\mu_{\check{c}}$	součinitel čepového tření	[-]
$\zeta$	součinitel valivého tření	[-]
$\rho_v$	hustota vodolátky	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\sigma_o$	ohybové napětí	[MPa]
$\sigma_{red}$	redukované napětí	[MPa]
$\tau$	smykové napětí	[MPa]
$\tau_{dov}$	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
$\tau_k$	napětí v krutu	[MPa]
$\omega$	úhlová rychlost	[rad.s <sup>-1</sup> ]

## **1. Úvod**

Výroba papíru je činnost známá lidstvu již po staletí, byť první výrobní postupy se téměř v ničem nepodobají dnešním moderním automatizovaným linkám na výrobu a zpracování různých druhů papíru či lepenky, které jsou tvořeny řadou strojů se specifickou funkcí. Jedním z těchto strojů je i zahušťovač, neboli odvodňovací stroj. Odvodňovacích strojů existuje hned několik druhů, my se však budeme zabývat stroji kruhového typu, jenž zahušťují papírenskou vodolátku skrz otáčející se buben, jehož plášť funguje jako síto. Zahušťovače jsou součástí linek pro přípravu látky, kde probíhá řada technologických operací jejichž výsledkem je vhodně upravená látka ke zpracování na papírenských strojích. Celá technologie přípravy pololátek a výroby papíru je stručně popsána v následující kapitole tak, aby si čtenář mohl vytvořit představu o zařazení a funkci zahušťovacího stroje ve výrobních linkách přípravy látky.

Diplomová práce byla realizována u firmy Papcel a.s., se sídlem v Litovli. Papcel je největší český výrobce papírenských strojů s více jak šedesátiletou zkušeností v tomto oboru. V současné době má Papcel vyvinuty čtyři odvodňovací stroje, lišící se především velikostí bubnu. Jedná se o stroje OK-500, OK-1000, OK-1500 a OK-4000. Číslo označuje délku síťového bubnu v milimetrech. Na první pohled je vidět poměrně velký velikostní skok mezi strojem OK-1500 a OK-4000. Bylo tedy rozhodnuto, navrhnout zahušťovač, který by vyplňoval technologicko-kapacitní prostor mezi těmito stávajícími stroji. Zadáním této diplomové práce je návrh odvodňovacího stroje OK-2500, tedy s délkou bubnu 2500 mm.

I přesto, že zahušťovače tohoto typu se používají v linkách přípravy látky více jak půlstoletí, neznamena to, že by na nich nebylo co zlepšovat. Prakticky neustále prochází vývojem a jejich dílčí části jsou zdokonalovány či zjednodušovány za účelem snížení nákladů. Případná úprava byla koneckonců i jedním z bodů zadání této diplomové práce.

V následujících kapitolách je tedy popsán samotný postup návrhu. Kromě již zmíněné technologie výroby papíru je samostatná kapitola věnována i podrobnému popisu jednotlivých částí stroje, jako jsou síťový buben, snímací válec, přepadové nádrže a další. Nechybí ani výpočtová část, rozdělená na podkapitulu věnující se návrhu pohonu a navazující kapitolu týkající se pevnostní kontroly nejdůležitějších součástí jako jsou hřídele síťového bubnu a snímacího válce, dále pak ložiska a pera. Součástí této kapitoly je i MKP analýza vany. V závěru jsou pak shrnuty výsledky této práce, jejichž grafická část - sestavné výkresy vany, síťového bubnu, snímacího válce, snímacího zařízení a celého stroje - jsou součástí přílohy.

## 2.1 Výroba a zpracování pololátek

12

### 2.1.1 Suroviny pro výrobu pololátek

K výrobě je možno použít všech rostlinných vláken, která mají délku alespoň třicetkrát větší než šířku. [14] Další podmínkou je, že vlákno musí mít schopnost roztřepit se na tzv. fibrily (menší vlákna). Dostatečná pevnost a pružnost je rovněž nezbytná. Nejpoužívanější surovinou pro výrobu pololátek je dřevo, avšak výše zmíněným požadavkům vyhovují i vlákna jiného druhu, např. konopná, bavlněná či lněná (hadry).

#### Dřevo

Ze dřeva se zhotovuje dřevovina i buničina. Nejhodnotnější částí stromu je kmen, který tvoří 50-90% jeho hmoty (podle druhu stromu). Vnější část kmene tvoří kůra, která se skládá ze dvou vrstev - vnitřní lýková a vnější korková. Kůry se při výrově papíru použít nedá, proto se kmeny před zpracováním odkorňují. Podstatnou část dřeva tvoří celulóza, jenž je z hlediska výroby papíru nejdůležitější. Celulózová vlákna ze dřeva jehličnatých stromů mají lepší vlastnosti, než ze stromů listnatých. Vlákna jsou delší, pevnější a především jejich obsah v kmenech jehličnatých stromů je vyšší (u smrku až 57%). Zbytek tvoří lignin, hemicelulóza, pryskyřice a nepatrné množství popelovin (viz. tab. 1). Celulóza, která byla ze dřeva izolována, je nazývána buničinou (viz. kapitola 2.1.3).

Tab. 1 Průměrné složení vybraných druhů suchého dřeva [14]

Druh dřeva	Celulóza [%]	Lignin [%]	Hemicelulóza [%]	Pryskyřice [%]	Popel [%]
Smrk	57,84	27,75	11,3	2,34	0,77
Borovice	55,25	28,35	12,02	3,59	0,79
Osika	47,11	20,25	29,25	2,87	0,52

**Konopná vlákna** - získávají se z lodyh konopí, kde se roztřepí tak, aby z nich vyčnívaly konce fibril. Průměrná délka konopného vlákna je 25 mm a šířka asi 0,017 mm.

**Lněná vlákna** - získávají se z rostlinné části lodyhy rosením, lámáním a česáním. Délka se pohybuje mezi 6 až 60 mm, šířka pak dosahuje až 0,026 mm

**Bavlněná vlákna** - získávají se z bavlníkových semen a jejich třepení na fibrily je o něco náročnější, než u vláken lněných či konopných. Délka se pohybuje v rozmezí od 20 do 50 mm a šířka asi 0,017 mm. [14]

### **2.1.2 Příprava vlákniny ke zpracování**

Vlákninou je nazývané dřevo, které se dodává ke zpracování do papíren či celulózek ve formě polen a klád. Vlákna může být členěna podle druhu stromu (smrková, jedlová, osiková atd.), jakosti a výskytu vad (I. až III. jakost) i dalších kritérií. Délka vlákniny se pohybuje od 0,75 do 3,5 m a průměr by neměl přesáhnout 25 cm. Příprava vlákniny spočívá v její přepravě, uskladnění, roztřídění, dělení, odkornění a dopravě do provozu.

#### **Doprava a uskladnění**

Doprava do papíren či celulózek je realizována nákladními automobily nebo vlaky. U závodů umístěných poblíž větších vodních toků lze použít i dopravu plavením. V závodech je nutno uskladňovat velké množství dřeva, aby produkce nebyla ohrožena nepravidelností dodávek. Vlákna se skladuje do hranic vysokých až 15m, nebo do volně sypaných hromad, což je vhodné především pro kratší kusy. Všechny úkony spojené s manipulací jsou mechanizovány. Při manipulaci s vlákninou se používají různé druhy jeřábů, překladačů a dopravníků, např. kabelové jeřáby, elevátory pro ukládání do hranic, lanové a jeřábové dopravníky atd.

#### **Dělení**

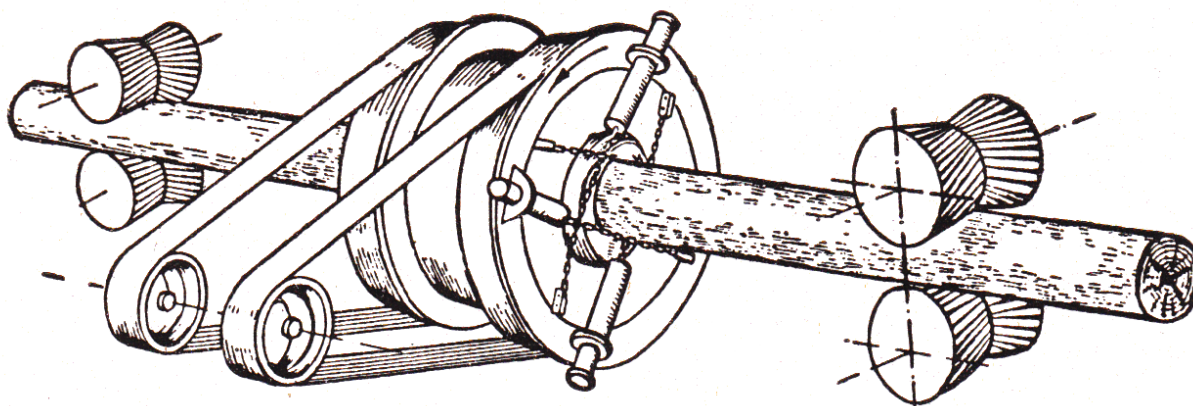
Podle velikosti závodu se k dělení používají jednolistové, nebo mnoholistové pily. Jednolistové pily se skládají z výkyvného rámu s jedním listem nasazeným na vodorovném hřídeli, který se otáčí vysokou obvodovou rychlostí (až  $60 \text{ m.s}^{-1}$ ). Velikost listu se odvíjí od velikosti vlákniny a mívá od 900 do 1200 mm v průměru.

Mnoholistová pila se používá ve větších závodech k dělení dlouhých kusů dřeva. Skládá se z několika listových pil připevněných na nakloněném ocelovém rámu, který je zároveň hlavní součástí příčného transportéru, jehož řetězy dopravují klády na pilu. Nařezaná polena poté odebírá dopravník. [14]

#### **Odkornění**

Pro odkornění se používá celá řada stroj a zařízení jejichž popis by vyžadoval daleko více prostoru, než může tato práce poskytnout. Nicméně dřevo se nejčastěji odkorňuje mechanicky a to buď vzájemným otěrem o jiné kusy (za mokra i za sucha), nebo frikcí jiným předmětem, obvykle řetězy, ozubenými válci, bubny, noži apod. Jeden příklad za všechny - řetězový odkorňovač, jenž je znázorněn na obrázku 2. Práce tohoto typu odkorňovače spočívá v ocelových řetězech (někdy i lanech) upevněných ve speciálních kotoučích, jenž se otáčení

kolem klády rychlostí asi  $200 \text{ ot.min}^{-1}$ . Pohyb klády ve vodorovném směru je zajištěn podávacími válečky a rychlost je asi  $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ .



*Obr. 2 Řetězový odkorňovač [14]*

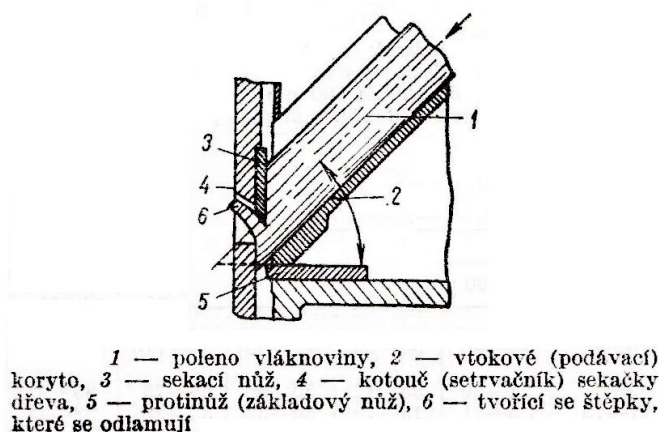
### **2.1.3 Výroba buničiny**

Buničina je základní pololátkou pro výrobu papíru. Může být nebělená nebo bělená podle požadavků na druh papíru. Buničinu získáme tak, že na rostlinné tkáň působíme chemikáliemi, které rozpouští inkrusty (lignin, hemicelulózy aj.) a přitom zachovají celulózu. Podle použitých chemikálií lze rozdělit způsoby, jimiž získáváme buničinu, na dvě skupiny: kyselé a alkalické. Do kyselých chemikálií patří sulfitový způsob, do alkalických sulfátový a natronový (sodný) způsob. Kromě sulfitového a sulfátového způsobu výroby buničiny se používá i způsob chloro-zásaditý (pro jednoleté rostliny). Výroba buničiny má tyto fáze:

#### **a) Sekání na štěpky**

Štěpky se sekají z pečlivě odkorněné vlákniny v sekárně. Po odkornění je vláknina ještě dočišťována a pečlivě prohlížena aby se na ní nevyskytovaly žádné nežádoucí prvky jako zbytky kůry, shnilé suky apod. Základním požadavkem na štěpky jsou především stejné rozměry, neboť jenom za této podmínky budou ve vařáku stejnoměrně prosáknuty varným roztokem a dosáhnou tak stejné jakosti. Samotné sekání na štěpky probíhá v sekačkách, ze kterých rozsekaná vláknina putuje do třídičů. Sekačka na štěpky se skládá z ocelového kotouče velkého průměru (až 3000 mm) usazeném na hřídeli, jenž dosahuje frekvence otáčení až  $250 \text{ ot.min}^{-1}$ . Na jedné straně kotouče jsou pak připevněny nože, jejichž počet se liší podle výkonnosti stroje (až 12 nožů). Břity nožů vyčnívají několik milimetrů nad rovinu kotouče a jejich přesah je nastavitelný. Otáčející se kotouč je umístěn v plášti vyrobeném z ocelového plechu, který má podávací koryto pro vlákninu (viz. obrázek 3).





Obr. 3 Schéma sekačky na štěpky [15]

#### b) Třídění a uskladnění štěpků

Rozsekané štěpky se dělí na tři samostatné frakce podle velikosti a to prosíváním sítí s různou okatostí. Nejčastěji se používá plochých vibračních třídících a rotačních bubnových třídících. Vytříděné štěpky putují do zásobníků ve tvaru čtyřbokých jehlanů umístěných nad vařáky. Obsah zásobníků bývá až dvakrát větší, než obsah vařáků a štěpky jsou do nich dopraveny pomocí pásových dopravníků či korečkových výtahů.

#### c) Vaření buničiny

Hlavním cílem vaření je odstranit z vlákniny lignin, čímž lze dosáhnout dvěma způsoby:

Při kyselém - sulfitovém procesu je základem várky oxid siřičitý spolu s oxidem vápenatým či oxidem hořečnatým. Proces probíhá při pH 1-2 a až za teploty 140 °C. Vyrobená buničina má poměrně vysokou bělost, ale o něco nižší pevnost (ve srovnání se sulfátovou buničinou). Při procesu dochází ke kyselé hydrolýze celulózy i hemicelulóz, čímž vznikne množství jednoduchých cukrů. Tyto cukry se mohou využít pro výrobu kvasnic z odpadních vod.

Při zásaditém - sulfátovém procesu se jako základní chemikálie používají sulfid sodný a hydroxid sodný. Varné pH se může blížit až hodnotě 13 a dosahuje se teplot až ke 170 °C. Vzniklá buničina vyniká výbornými pevnostními vlastnostmi a používá se pro mechanicky namáhané papíry (například pro pytlový). [20]

#### d) Praní, třídění a zahušťování buničiny

Buničina se pere v látkových jámách nebo pracích skříních a poté se v třídírně zbavuje suků, neprovařených štěpků a minerálních příměsí, načež putuje na zahušťovače, kde se částečně odvodní. Právě v této části linky pro přípravu látky tedy pracuje zahušťovač, jehož



návrh je tématem této diplomové práce. Podrobnější popis jeho činnosti je pak v kapitole 3.1. Nebělená buničina odvodněná v zahušťovačích na konzistenci 3-6% sušiny se dále dopravuje do papírny, nebo bělírny.

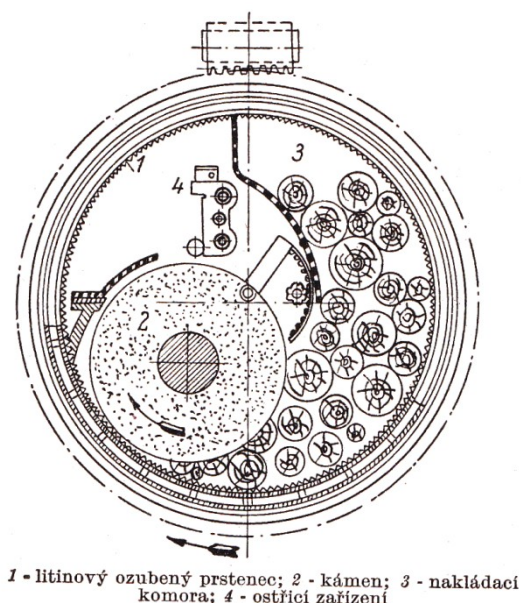
Vyrábí-li závod buničinu pro jiné odběratele, je nutno ji odvodnit na dalším stroji se sušící částí, nejčastěji jde o odvodňovací stroj s podélným sítím, který je podobný části papírenského stroje. Tento stroj má kromě sušící také lisovou a síťovou část.

#### **2.1.4 Výroba dřevoviny**

Hlavní surovinou pro výrobu dřevoviny je dřevo jehličnatých stromů chudých na pryskyřici, tedy především dřevo smrkové nebo jedlové. Dřevovina se používá pro výrobu papíru nevyžadujících dlouhou životnost a bělost, zejména pak pro lepenkový, balící či novinový papír. Význam dřevoviny jako pololátky pro výrobu papíru však neustále klesá, neboť je nahrazována recyklovaným papírem. Výrobní postup je následující:

Odkorněné dřevo ze skladu se dopraví do brusírny, kde je hromaděno ve větším množství, aby se zajistil nepřetržitý provoz. Následně dochází k plnění šachet jednotlivých brusů dřevem a k jeho broušení. Strojů pro broušení dřeva (brusů) je několik, společným znakem jejich práce je přitlačování polen k otáčejícím se brusným kamenům. Pritlačování může být hydraulické nebo mechanické. Brusy mohou být vřetenové, řetězové či prstencové (obr. 4). Na brusech dojde k rozvláknění dřeva, které je pak smícháno s vodou a prochází několika třídícími a čistícími zařízeními, které odstraní hrubé svazky vláken a třísky. Odstraněné třísky se vrací do brusů nebo se spalují v parním kotli. Za třídíči se dřevovina zředí vodou a dopravuje se k zařízením pro jemné třídění, ze kterých dále pokračuje k zahušťovačům, kde se odvodní na konzistenci asi 40-60 g.l<sup>-1</sup>.

Látka která se má skladovat nebo dopravovat do jiných závodů, se dále odvodňuje na lepenkových strojích, kde se snímá v podobě listů z tlusté lepenky. Listy zahušťovačů a lepenkových strojů odtéká společně s vodou i značné množství dobrých vláken, proto se používá této vody k ředění látky ve vanách brusů nebo putují do ostřikových trubek zahušťovačů a třídíčů (zpětná voda). [14].



*Obr. 4 Prstencový brus [14]*

### **2.1.5 Výroba hadroviny**

Pro výrobu některých druhů papíru nelze použít buničiny ani dřevoviny, neboť vlákna těchto pololátek nesplňují požadavky na pevnost, pružnost a životnost. Jak už bylo řečeno, jedná se například o papír pro bankovky, cigaretový papír apod., který se vyrábí z hadroviny. Hadrová pololátka, jenž se vyrábí z použitých textilií, se nežádka míchá i s dřevnou či slámovou buničinou. Výroba probíhá v následujících krocích:

a) Desinfekce a sušení hadrů - desinfikuje se parou po dobu cca 60 minut a to ve válcové komoře, do které jsou balíky textilií zavezeny ve vozech. Poté se hadry suší vzduchem ohřátým na 40°C v pásové sušárně.

b) Vyprašování hadrů - hadry se zbaví prachu a písku v odprašovacích strojích, které jsou tvořeny několika rotujícími bubny opatřenými zuby.

c) Třídění hadrů - spočívá v roztřídění podle druhu materiálu a odstranění nežádoucích předmětů (knoflíky, zipy aj.).

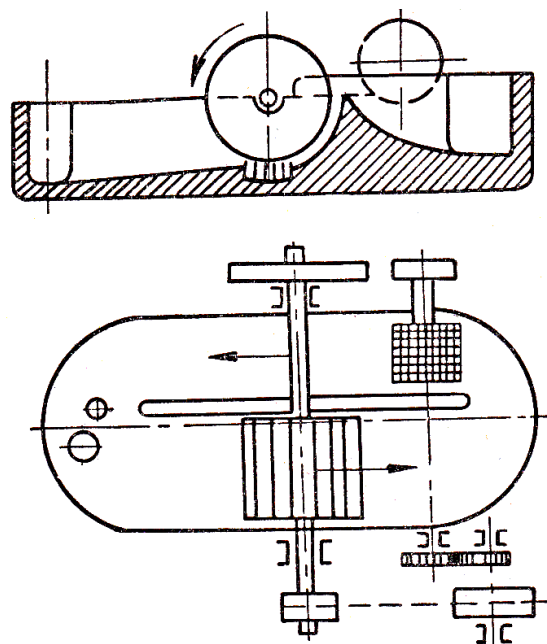
d) Sekání hadrů - hadrové kusy je třeba rozsekat na rozměry, které nepřekračují 50x50 mm, což se provádí gilotinovými sekačkami.

e) Závěrečné odprašování - probíhá v obdobných odprašovacích strojích popsaných v bodě b, avšak s více bubny. Zde se hadry zcela zbaví prachu.

f) Vaření hadrů - hadry se vaří v otáčivých nádobách kulového tvaru (vařáky), vyrobených z ocelového plechu. Vařáky mají dvě hrdla pro vyprazdňování a plnění hadrovinou, která jsou hermeticky uzavřena víky.

g) Praní a mletí hadrů na pololátku - praní a mletí hadrů se uskutečňuje v tzv. holandrech. Holandr je zařízení skládající se z podlouhlé vany oválného tvaru, kde jsou dva otáčivé bubny: mlecí a prací (viz. obrázek 5). [14]

h) Bělení a odvodňování hadroviny - pro jakostní druhy papíru je nezbytná čistá bílá barva, proto se hadrovina bělí roztoky chlorového vápna v zařízeních, které se podobají pololátkovému holandru (bělicí holandry).



*Obr. 5 Pololátkový holandr [14]*

### **2.1.6 Zpracování sběrového papíru**

S rostoucí výrobou papíru se zároveň stále více uplatňuje i zužitkování starého papíru. Starý papír se ke zpracování dodává z různých zdrojů. Z větší části se jedná o papír sběrový, který je sbírán z domácnosti či firem, a zbytek tvoří tzv. vratný papír, tedy odpad vzniklý při výrobě a zpracování papíru (odřezky, poškozené a znečištěné listy apod.). Podle druhu papíru se sběrový papír rozděluje do sedmi kvalitativních tříd označených P1 až P7. P1 je nejkvalitnější čistý bezdřevý papír bílý, zatímco P7 je použitý papír nejhorší jakosti (odpad z bílých, šedých, hnědých a jiných lepenek). Zpracování sběrového papíru probíhá v následujících fázích:

a) Předběžné zpracování - starý papír je nutno zbavit prachu v otáčivých odprašovačích s kruhovým, nebo čtvercovým průřezem. K třídění papíru dochází na se třídících stolech, které jsou opatřeny sítí s otvory o průměru 8-10 mm. Pod stoly jsou umístěny bedny, jejichž dno je tvořeno hustým pletivem. Toto pletivo zadrží plochý papír, zatímco prach se odsaje do usazovacích komor. Předběžné třídění sběrového papíru je možno uskutečnit i na pomalu pohybujících se dopravních pásech, kde obsluha vytrídí nepoužitelný papír a nežádoucí předměty.

b) Rozvlákňování - vytríděný papír je třeba podrobit rozvlákňování, což je mechanický proces, při němž se odvodněné nebo vysušené vláknité suroviny intenzivním hnětením za většího či menšího přídatku vody uvolňují na jednotlivá vlákna nebo malé shluky. Uvolnění je dosaženo snížením chemických a mechanických vazeb. Zpravidla se rozvlákňování provádí za přídatku vody o normální teplotě, čímž dochází k současnému bobtnání vláken. Se zvětšováním teploty se však rozvlákňovací proces urychluje. Rozvlákňování se neprovádí do stavu úplného oddělení jednotlivých vláken, neboť by to bylo neekonomické. Snahou je dosáhnout rychlého a šetrného oddělení vláken do čerpatelného stavu. [15] K rozvlákňování je možno použít těchto strojů: kolové mlýny, trhače, hnětače, rozvlákňovací holandry a vířivé rozvlákňovače. Mlýny, holandry a hnětače jsou již dnes prakticky nepoužívanými stroji a ani s trhači se v závodech nesetkáváme často. Nejpoužívanějším typem zařízením jsou vířivé rozvlákňovače, které se vyrábí v několika různých provedení (horizontální, vertikální; středněkonzistenční, nízkokonzistenční). Podrobněji se vířivými rozvlákňovači zabývá kapitola 2.2.1.

c) Odstranění tiskařského inkoustu - k odstranění starých tiskařských barev a klíždí ze starého papíru bylo navrženo mnoho rozličných způsobů, avšak nejvíce se používá čistě

zásaditých způsobů zpracování výmětu s následným praním a bělením. Nežádoucí šedá barva vláken sběrového papíru, která je způsobena hlavně tiskařským inkoustem, barvivý a jinými nečistotami, se odstraňuje vymýváním nebo tzv. vyflotováním nositelů šedosti. To se děje při zesvětlování vlákniny ze sběrového papíru, k čemuž se používají jen papíry potištěné či popsané, nikoliv papíry z jakostní třídy P7. Šedou barvu vlákniny lze rovněž snížit bělicími postupy. [15]

## **2.2 Výroba papíru**

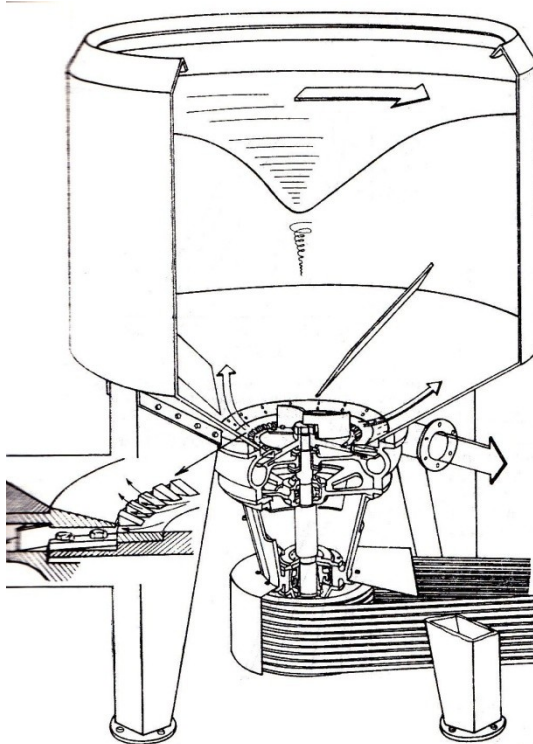
Výroba papíru spočívá v přípravě papíroviny, vlastní výroby a následné úpravy papíru. Příprava papíroviny je nejdůležitější částí celého procesu a do značné míry na ni závisí kvalitativní vlastnosti vyrobeného papíru. Z hotové papíroviny se vyrábí papír na papírenském stroji, což je složitý stroj, na kterém se postupně provádí řada po sobě jdoucích a nepřetržitých technologických operací, jako je tvorba pásu, mechanické lisování, odvodnění, sušení atd. Závěrečnou etapou při výrobě papíru je jeho úprava, do které se zahrnuje kalandrování, hlazení, krepování, řezání atd. Následně je papír vytříděn, balen a připravován k expedici.

### **2.2.1 Rozvláknění pololátek**

Papírny bývají často postaveny v bezprostřední blízkosti celulózek a v takových případech není předběžné rozvláknění zapotřebí, neboť do papíren proudí pololátka s konzistencí 5-9%, která putuje přímo k mletí. Předběžné rozvláknovat je tedy potřeba jen pro ty pololátky, které se to závodu dostanou v suchém nebo polosuchém stavu, například z jiných celulózek. K jejich rozvláknování se používají trhací stroje (rozvláknovače) různého typu. V dnešní době je velmi časté použití vířivého rozvláknovače, jenž se také nazývá "hydropulper" (viz. obr. 6). Tento typ rozvláknovače je v podstatě nádrž vyrobená z nerezového ocelového plechu, která má ve spodní části dna umístěn otáčivý kotouč s lopatkami. Na vnitřních nepohyblivých stěnách jsou pak pevné vodící lopatky.

Tyto rozvláknovače využívají k rozvláknování vláknitých surovin převážně turbulenci suspenze vlákniny, zatímco mechanický účinek je u nich potlačen. Tím se dosahuje šetrnějšího rozvláknění. [15]

Práce na hydropulperu spočívá v tom, že se uvede do chodu otáčivý kotouč a nádrž se zaplní vodou do zhruba poloviny objemu. Poté se přivádí pololátka které se rozmíchá ve vodě a vznikne tak rovnoměrná suspenze vláken. [14]



*Obr. 6 Vřivý rozvlákňovač [15]*

### **2.2.2 Mletí pololátek**

Mletí může probíhat buď ve strojích pracujících přerušovaně (nejčastěji holandry), nebo ve strojích s nepřetržitým pracovním cyklem (kuželové mlýny).

#### **a) Mletí v holandrech**

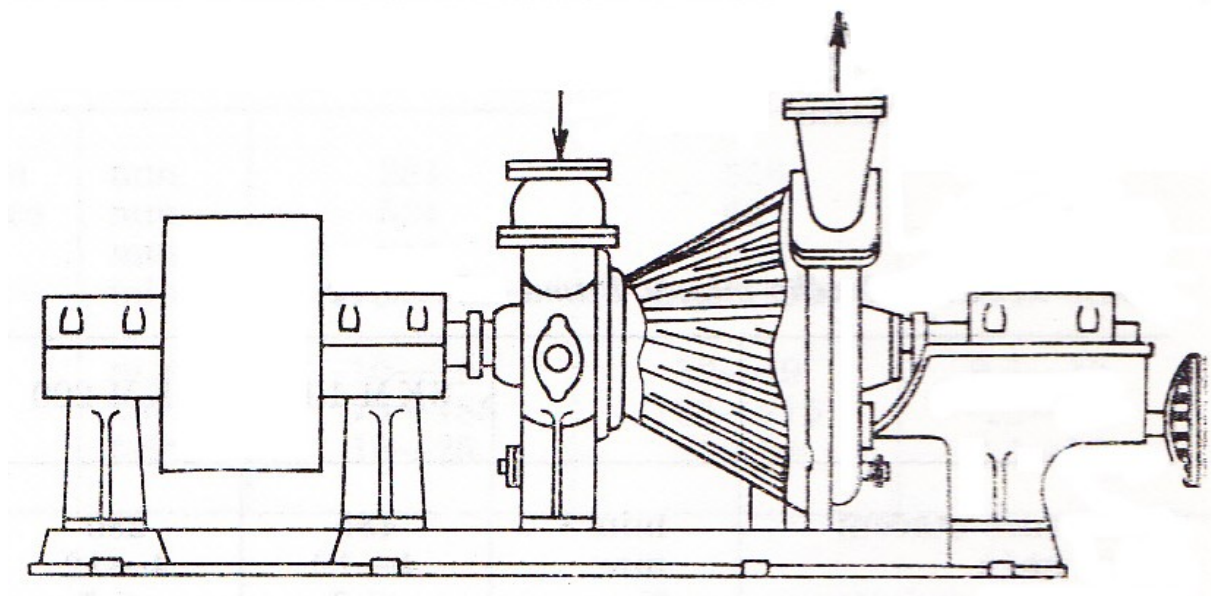
Pevnost různých druhů pololátek není stejná a proto vyžadují k mletí různých časů i způsobů. Například dřevovina dosáhne příslušného stupně mletí již při broušení a holandry pouze rozdělují jednotlivá vlákna, takže doba mletí je velmi krátká. Naopak hadrovina potřebuje ze všech pololátek nejdéle trvající mletí. Existují dva způsoby mletí: se smíšeným zanášením, kdy se do holandru zanáší všechny typy pololátek v patřičném poměru, nebo s odděleným zanášením, kdy se každá pololátka zanáší ve vlastní skupině holandrů.

Holandry se jako rozvlákňovací stroje používají již stovky let a samozřejmě se jejich konstrukce s postupem času značně měnila a vylepšovala. Dnes je známo asi šest desítek různých typů holandrů, jejichž společným znakem je všestranné použití a konstrukce skládající se obvykle z vany, mlecího válce, pákového mechanismu a krytu. Příklad holandru je znázorněn na obrázku 5.

V dnešní době je však vlivem zvětšování papírenských kapacit a rozdělením mlecích operací význam holandrů značně potlačen a používají se jen pro nízkokapacitní papírenské stroje se speciálním výrobním programem [15].

b) Mletí v kuželových mlýnech

Kuželový mlýn je zařízení navržené pro nepřetržitý provoz. Skládá se kuželového bubnu s mlecími noži na povrchu, který je umístěn uvnitř kuželového pláště (statoru), jenž je z vnitřní strany rovněž osazen noži. Látka o konzistenci 3-4% vstupuje potrubím do úzkého profilu mlýna a odchází potrubím v široké části. Kužel je poháněn elektromotorem přes pružnou spojku, jenž umožňuje osový pohyb kužele. [14]



*Obr. 7 Kuželový mlýn [15]*

### **2.2.3 Plnění, klížení a barvení papíroviny**

Plnění papíru je proces, při kterém zavádíme do papíru nevláknité minerální látky nerozpustné ve vodě, které jsou chemicky netečené (inertní) a které po rozptýlení do pórů mezi vlákna papíru dodají mu zcela nové vlastnosti [14]. Mezi nejčastěji používaná plnidla patří kaolin, mastek sádra aj. Účelem plnidel je například snížit průsvitnost papíru, změkčit ho, či zvýšit jeho hladkost. Některá plnidla umožní i zvýšit bělost papíru (např. baryt).

Klížení slouží ke snížení nasákavosti papíru a smáčivosti jeho povrchu. Celulózová vlákna jsou totiž hydrofilní a snadno se tedy smáčí vodou. U některých druhů papírů je tato vlastnost žádoucí, ale u celá řady jiných druhů tomu tak není a proto je nutné zavést klížení. Papír je možno klížit dvojím způsobem - buď přidáním klíždla, nebo povrchovým klížením již vyrobeného papíru. Klížení obvykle probíhá ve hmotě, a to hlavně pryskyřičným kličem a síranem hlinitým.

Barvení dodává papíru požadovanou barvu, a to buď barvením hotového papíru tím, že jej necháme prosáknout barevným roztokem, nebo zanesením barviv přímo do papíroviny.



### **2.2.4 Míchání papíroviny**

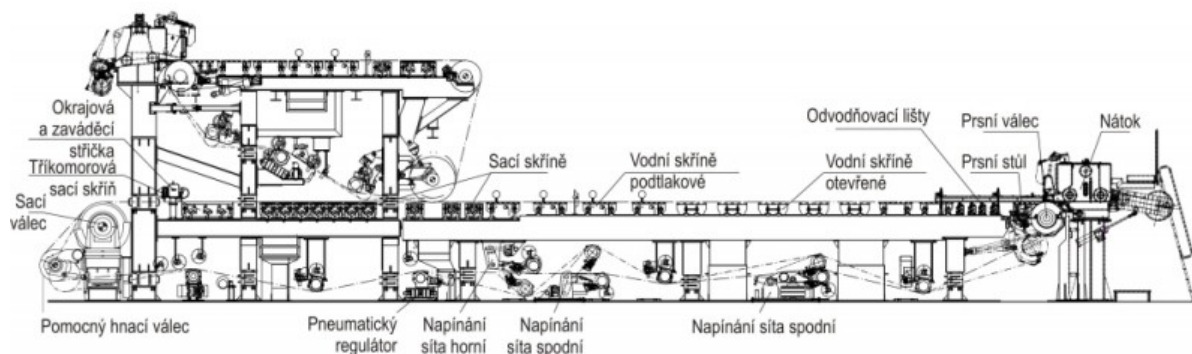
Z holandrů teče papírovina do míchacích kádí papírenského stroje a odtud se dál dopravuje do nátokové skříně sítové části stroje. V tomto úseku prochází papírovina zařízeními a stroji, ve kterých se ředí, čistí a někdy též rafinuje. [14] Papírovina vtéká do míchacích kádí, kde je udržována ve větším množství, čímž se zajistí plynulé zásobování papírenského stroje. Míchací kádě mohou být ležaté i stojaté, přičemž ležatých se používá častěji. Dále lze kádě dělit podle míchacího zařízení a to na kádě s lopatkovými michadly, nebo na kádě s vrtulemi. Před vstupem papíroviny do stroje je možno ji dle potřeby ještě ředit a čistit.

### **2.2.5 Výroba papíru na papírenských strojích**

Existují tři základní druhy papírenských strojů: s podélným sítem, válcovým sítem a stroje kombinované. Nejpoužívanější jsou stroje s podélným sítem, které v této kapitole stručně popíšeme. Všechny papírenské stroje se skládají ze čtyř technologických částí: síťová, lisová, sušící a upravovací. První dvě části jsou často také označovány jako mokrá část stroje.

#### **a) Síťová část**

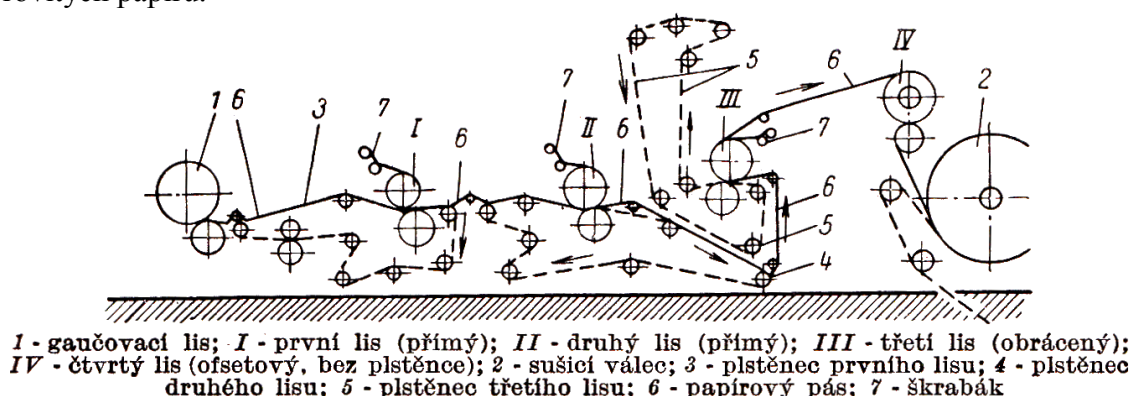
Tato část slouží k odvodnění papíroviny a její přeměnu v tzv. "papírový list". Papírovina vytéká z nátoky na podélné nekonečné síto, kde dochází k odvodnění papíroviny tak, že se vlákna usazují na povrchu síta. Nekonečné síto obepíná na jedné straně u nátoky prsní válec a na straně druhé sací a hnací válec. V horní části mezi těmito válci se nachází odvodňovací prvky, na kterých jsou uchyceny stírací lišty z umělé hmoty nebo keramiky, po kterých se pohybuje podélné nekonečné síto s látkou a při styku dochází k odvodnění papíroviny. Nekonečné síto papírenského stroje je ve spodní části síťového stolu neseno, vedeno a napínáno řadou válců. Délka síťové části závisí na výkonu papírenského stroje a na druzích papírů vyráběných na stroji. Délka síta je dále určena počtem odvodňovacích prvků. [21]



*Obr. 8 Síťová část papírenského stroje [21]*

b) Lisová část

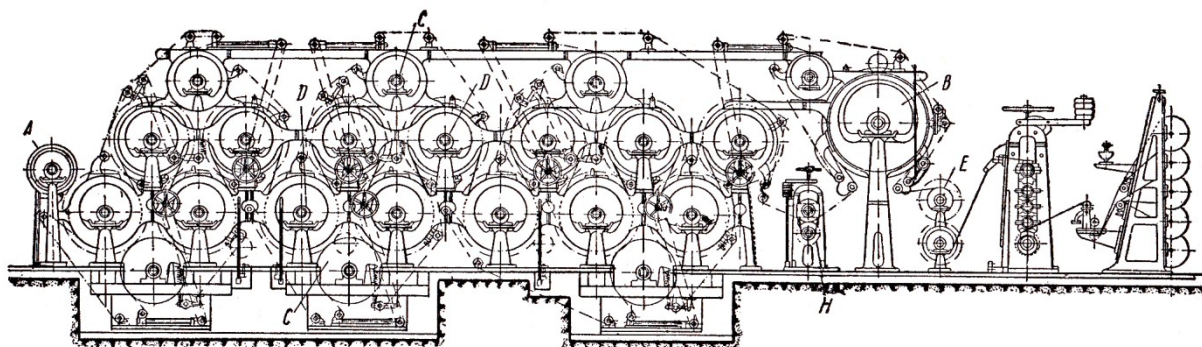
Lisování papíru je poslední proces, který mechanicky odstraňuje vodu v papírenském stroji. K tomu účelu se používá celá řada lisů (s jedno nebo více lisovacími zónami), které při vhodné kombinaci tvoří optimální lisovou část. Optimální lisová část musí respektovat výkon stroje, jeho rychlost (způsob zavádění papíru), daný produkt a způsob výměny plstěnců a válců. [22] Zvětšení suchosti za lisy umožňuje snížit spotřebu páry v sušící části stroje, např. při zvětšení suchosti o 1%, dojde ke snížení spotřeby páry až o 5%. Lisování je výhodné nejen z hlediska šetření nákladů při odvodnění, ale i jako prostředek pro získání pevnějších a méně pórovitých papírů.



Obr. 9 Schéma lisové části papírenského stroje [14]

c) Sušící část

Za mokřými lisy může být zbytek vody z papíru odstraněn jedině za zvýšené teploty, což má na starosti sušící část. Voda z papíroviny se odpařuje na sušících válcích vytápěných parou. Sušící část je zpravidla nejdelší částí stroje, ale její délka i provedení se liší dle požadavků na typ vyráběného papíru. Sušící část je rozdělena na jednotlivé skupiny (baterie), které se obvykle skládají z několika sušících válců pro papír, minimálně jednoho sušícího válce pro plstěnek a napínacích, regulačních a rozšiřovacích válečků (viz. obrázek 10). Každá baterie má obvykle vlastní pohon zajišťující možnost samostatné regulace jejich rychlosti.



Obr. 10 Sušící část stroje [14]

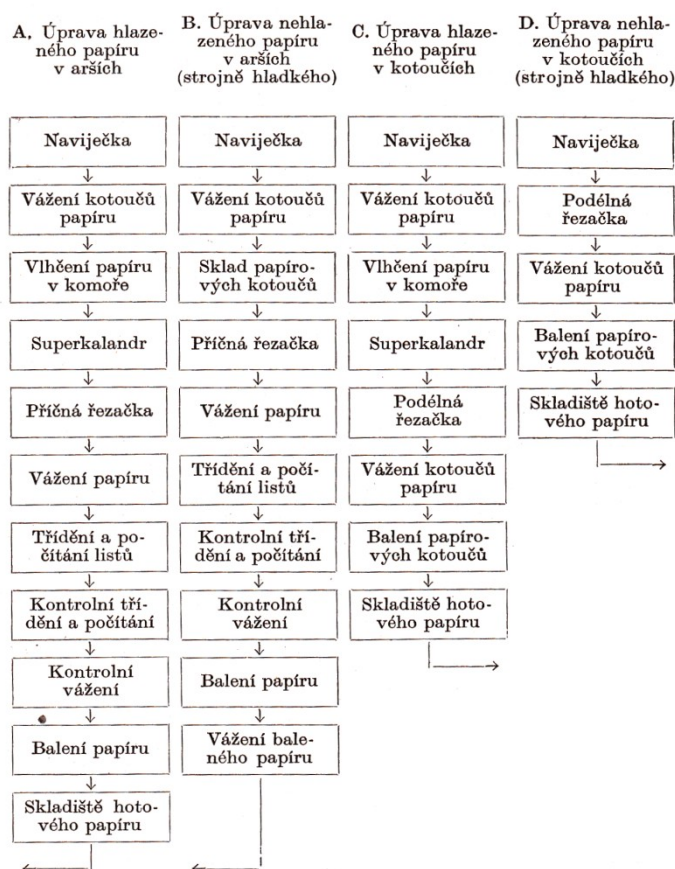


d) Upravovací část

Tato část zakončuje papírenský stroj a skládá se obvykle s chladicího zařízení, hladící stolice (kalandru), podélné řezačky, vlhčicího zařízení a navinovacího zařízení. Chladicí zařízení jsou dva duté válce chlazené vodou, jejichž pláště jsou často měděné. Hladící stolice slouží ke zvýšení hladkosti a objemové hmotnosti papíru, který přichází z chladicího zařízení s nerovným povrchem. Hladící stolice se skládá z několika válců vyrobených ze speciální litiny a umístěných svisle nad sebou nebo s mírným přesunutím. Vlhčicí zařízení má za úkol zvýšit vlhkost papíru na takovou úroveň, aby se přiblížila vlhkosti okolního vzduchu, neboť od sušicí části přichází papír často přesušený. Příkladem vlhčicího zařízení je deska s vypouklým povrchem, na niž z trysek dopadají kapičky vody a následně se rozptýlí na jemnou mlhovinu, které vlhčí procházející papír. Navinovací zařízení (navíječka) je konečnou částí papírenského stroje a její činnost spočívá v navíjení pásu papíru do kotoučů.

## 2.2.6 Dodatečná úprava papíru

Existuje mnoho způsobů úpravy papíru, jejichž popis by zabral několik stran. Pro zjednodušení tak v obrázku 11 uvádíme pouze základní přehled úpravy papíru podle jeho druhu.



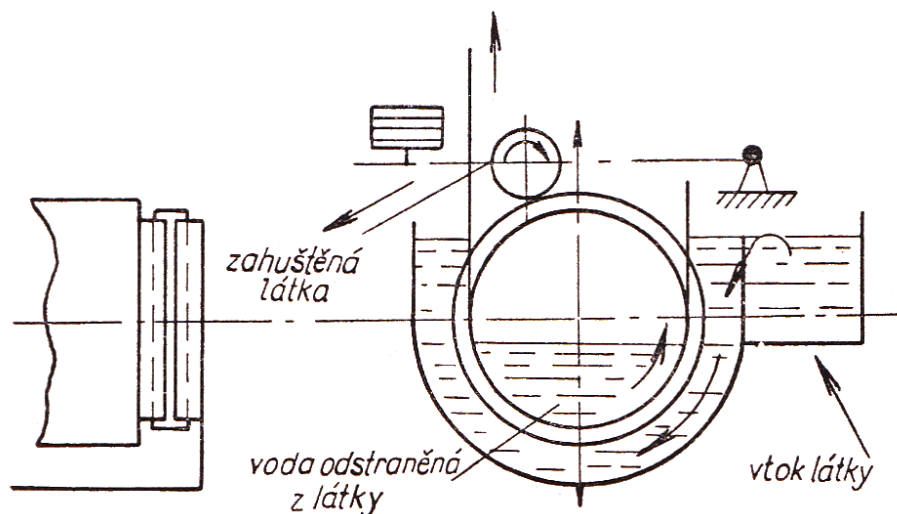
Obr. 11 Přehled úpravy papíru [14]

### 3. Funkce a popis zahušťovače

Jak už bylo zmíněno v kapitolách popisujících výrobu buničiny a jiných pololátek, k zahušťovači přichází pololátka z třídičů a má konzistenci asi 0,3 až 2%, což nestačí pro výrobu papíru a je tedy nutno látku více zahustit. Za zahušťovačích dojde k oddělení značného množství vody, která se pak použije jako tzv. zpětná voda, která putuje zpět k brusům, třísečnickům, jemným třídičům, nebo se použije pro ostřík. Tím se jednak šetří voda potřebná pro zpracování pololátek, ale také se tím zajistí, že nepřijdou vniveč vlákna pololátky, která jsou i přes filtraci přes síťový buben stále rozptýlena ve vodě v nezanedbatelném množství.

#### 3.1 Popis funkce

Filtrační přepážku v zahušťovačích kruhového typu tvoří rotující buben, jehož plášť je vyroben z děrovaného plechu a funguje jako síto. Plášť je dále potažen dalším sítím, vyrobeným ze speciálního materiálu s obchodním označením PESOS A10, které zvyšuje účinnost filtrace. Buben je uložen ve vaně stroje do které vtéká nezahuštěná pololátka s počáteční konzistencí 0,3 až 2% (podle druhu látky). Pololátka proteče oky síťového bubnu (kde dojde k zachycení vláken) a odfiltrovaná voda odchází ze čelem stroje přes přepadové nádrže. Vláknina zachycená na otáčejícím se plášti síťového bubnu sítu a následně jsou nalepována na snímací válec a přes škrabák a svod putují v zahuštěné podobě ven ze stroje na straně opačné od vstupu pololátky. Snímací válec má tedy i tu funkci, že vlákna tlakem lisuje a tím je odvodňuje na požadovanou konzistenci. Mezera mezi snímacím válcem a síťovým bubnem (přítlak) je nastavitelná a lze ji měnit podle druhu zpracovávané látky.



Obr. 12 Schéma práce zahušťovače [14]

Dále je nutno zabránit, aby odfiltrovaná voda nevtékala zpět do vany s pololátkou, čímž se zabrání pomocí pásového těsnění z měkčeného PVC. Dřív se pro tento účel používalo tzv. bandáží, tedy tenkých kovových pásů potažených plstěncem, ale současné řešení je účinnější.

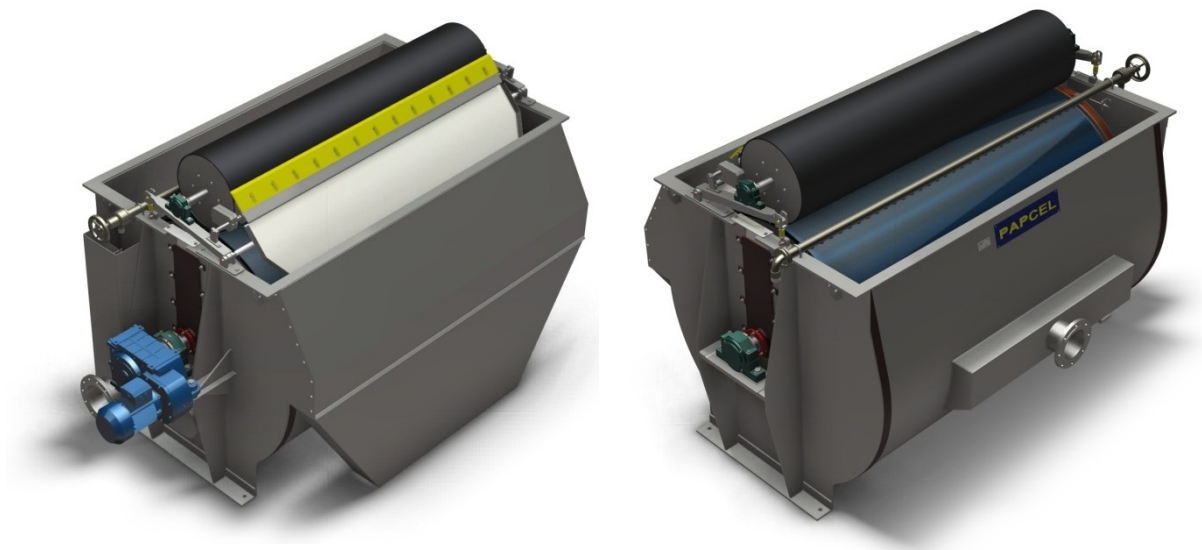
Výkonnost stroje je dána jednak velikostí síťového bunu, ale závisí také na frekvenci otáčení a rozdílu hladin mezi pololátkou ve vaně a vytříděnou vodou uvnitř bubnu. Otáčky lze regulovat pomocí frekvenčního měniče elektromotoru a je také možné ovlivnit i rozdíl hladin a to díky přepadovým nádržím (viz. 3.3.4). Běžné otáčky u těchto strojů se pohybují v rozmezí  $15\div 22\text{ min}^{-1}$ , přičemž jejich snížení při zachování ostatních parametrů způsobí, že se výkon stroje sníží. Od určité hranice otáček se však výkon snižuje i při jejich zvyšování, což lze vysvětlit horším pronikáním vody sítě při zvýšené obvodové rychlosti bubnu. Rozdíl mezi hladinou pololátky ve vaně a vody v bubnu hladin se na výkonu projeví také. Čím vyšší tento rozdíl je, tím intenzivnější je odvodňování a výkon se zvyšuje. Naopak klesá, pokud se úroveň obou hladin blíží k sobě.

Na výkon má rovněž vliv teplota vstupující pololátky a její viskozita. Mazlavá látka pouští vodu pomaleji než látka ostrá a proto při odvodňování těchto pololátek výkon stroje klesá. Tento zahušťovač je možno použít pro zpracování všech druhů pololátek, avšak u buničiny má mnohem vyšší výkon (až trojnásobně), protože buničina má nižší mazlavost a proto snadněji ztrácí vodu viz. tabulka 2. Mazlavost, nebo také někdy stupeň mletí, se udává ve stupních SR (Schopper-Riegler) a stanovuje se pomocí speciálních přístrojů pro určení mazlavosti.

*Tab. 2 Výkonové parametry stávajících zahušťovačů*

Provedení stroje	Výkon (t/24 hod.)			
	Buničina 15° SR	Dřevovina 55 - 60° SR	Sběrový papír 30° SR	Hadrovina 25° SR
OK-500	10 - 25	5,5 - 15	7 - 15	7 - 15
OK-1000	20 - 50	11 - 24	14 - 30	14 - 30
OK-1500	30 - 75	16 - 36	21 - 45	21 - 45

Při provozu stroje odpadává část vláken z povrchu síťového bunu a hromadí se ve vaně stroje, čímž se obsah vodolátky postupně zahušťuje a má negativní vliv na tvorbu vrstvy látky na sítu. To má za následek pokles výkonu stroje protože se tak znesnadňuje chod bubnu, ale lze to vyřešit odvodem části zahuštěné pololátky přes přepad stroje.



*Obr. 13 Odvodňovací stroj OK-2500*

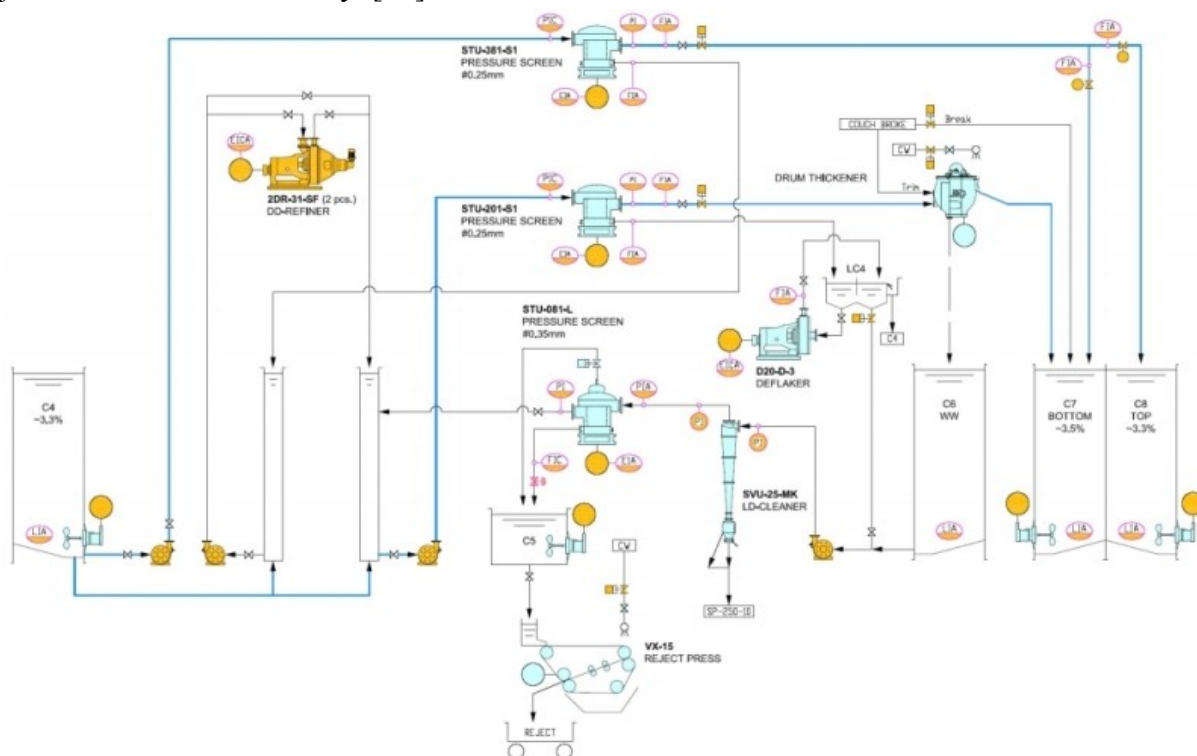
## **3.2 Příklady zapojení stroje do výrobních linek**

V této kapitole uvedeme dva příklady umístění zahušťovače do výrobních linek. Jedná se o linky pro jemné šterbinové třídění a linky pro zpracování nápojových obalů. Obě linky využívají zahušťovač, byť jeho výkonová varianta se vždy liší dle požadavků na výkon a charakteristiku linky.

### **3.2.1 Jemné šterbinové třídění**

Jedná se o šterbinové třídění při střední konzistenci - z jediné suroviny získány dvě frakce: látka pro krycí vrstvu (výborná čistota i homogenita), látka pro spodní vrstvu (dostatečná čistota i homogenita). Obě frakce mají přibližně stejnou průměrnou délku vláken i stupeň mletí. Větší část látky již není třeba zahušťovat.

V celé lince není zapotřebí žádná regulace konzistence, protože látka přichází z nádrže předtříděné látky s poměrně stálou konzistencí 3,2 až 3,4 %, a další technologie je již vzhledem ke konzistenci samoregulační, protože linka je navržena tak, aby ve všech nádržích i potrubních trasách byla, po seřízení linky, optimální konzistence. Všechny uzly linky pracují prakticky při konstantních průtokových a tlakových podmínkách, takže není nutné žádné provozní regulování parametrů - linka pracuje při trvale konstantním nastavení parametrů, které jsou pouze indikovány pro kontrolu. V případě ucpání síta kteréhokoliv síťového třídiče dojde ke zvýšení tlakové ztráty, která sepne poruchovou automatiku, a tato během 30 až 40

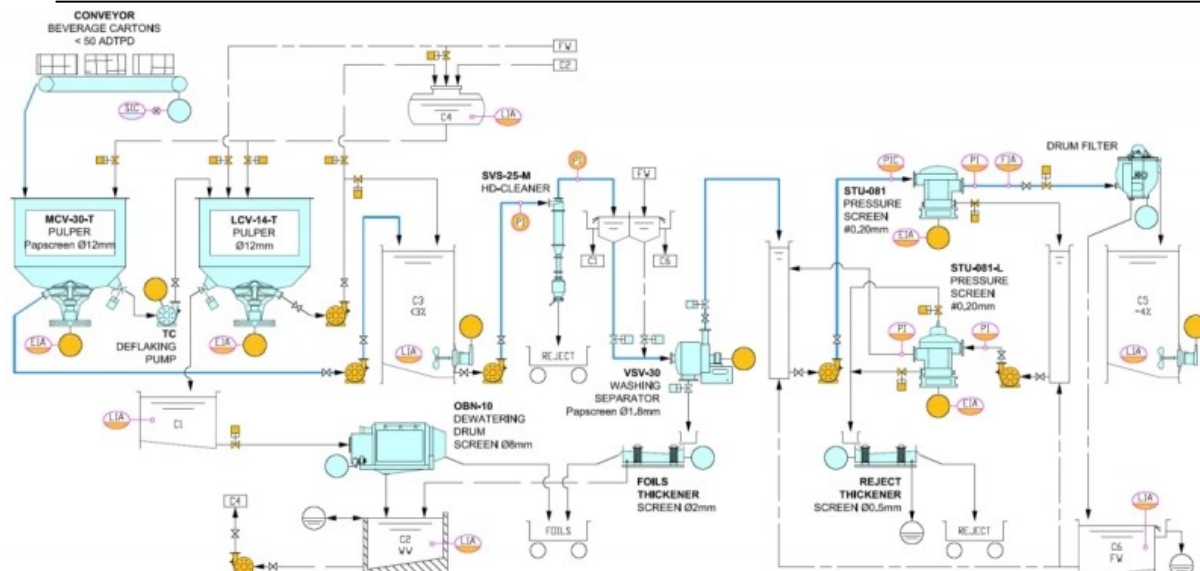


### 3.2.2 Zpracování nápojových obalů

## Charakteristika linky

- recirkulující vody ve dvou okruzích: znečištěná (ředicí) a filtrovaná (prací a provozní),
- rozvláknění a manipulaci se surovinou, produkty a odpady provádí obsluha, ostatní část linky pracuje plně automaticky pod kontrolou operátora,
- surovina má výtěžnost cca 98 %, z linky odchází jen 1 až 2 % výplivu (z SVS a STU),
- spotřeba energie (SEC) činí 270 až 280 kWh/t (včetně čerpadel a míchadel). [23]





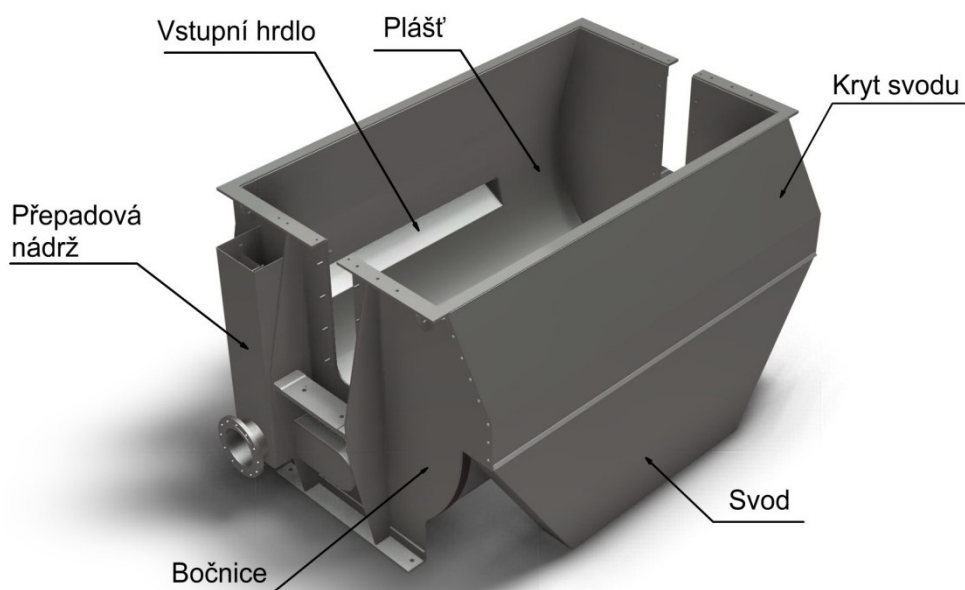
Obr. 15 Linka pro zpracování nápojových obalů [23]

### 3.3 Jednotlivé části stroje

Stroj se skládá z několika základních dílů, které si popíšeme v kapitolách 3.3.1 až 3.3.7. Jedná se o vanu, síťový buben, snímací válec a mechanismu, přepadovou nádrž, pohon a ostřikovou trubku. Výkresy nejpodstatnějších částí stroje jsou pak součástí přílohy.

#### 3.3.1 Vana

Vana je vyrobena z austenitické korozivzdorné oceli 1.4541 a jde o základní část stroje. Je vodotěsně svařena z několika samostatných součástí: plášť, bočnice, svod a jiné. Součástí vany je i přepadová nádrž, umístěná na jedné z bočnic.

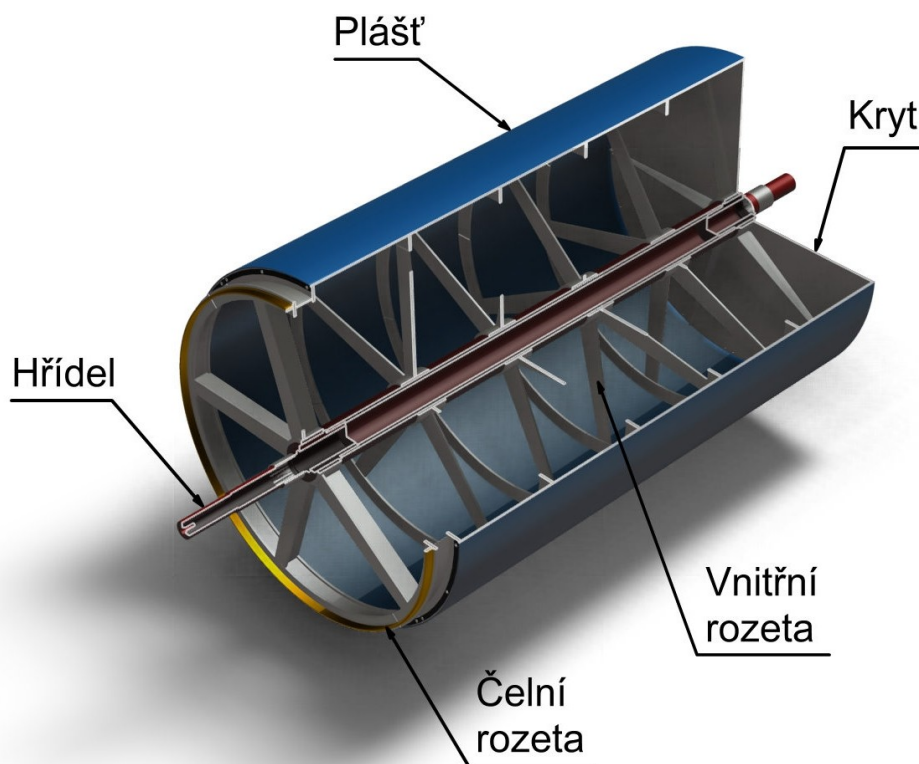


Obr. 16 Vana OK-2500

Vodolátka vtéká do vany vstupním hrdlem DN 200 a odfiltrovaná vystupuje přes přepadovou nádrž hrdlem DN 250. Kromě těchto hrdel je na dně vany ještě jeden výstup DN 150 opatřený pneuklapkou, kterým se vana vypustí v případě odstávky. Svod vany, kterým se odvádí zahuštěná látka, je rozdělen na dvě části: pevnou a demontovatelnou (kryt svodu), která je s bočnicemi vany spojena šrouby.

### 3.3.2 Sítový buben

Stejně jako vana přichází do styku s papírenskou pololátkou a je tedy rovněž vyroben z nerezové oceli. Buben je pracovní částí stroje, neboť je poháněn elektromotorem a vykonává otáčivý pohyb. Uložen je ve vaně na dvouřadých válečkových ložiskách. Sítový buben se skládá z několika částí. Vnější plášť funguje jako síto a je tedy vyroben z nerezového děrovaného plechu. Na obrázku je však pro zjednodušení bez děr, neboť Autodesk Inventor má problém vymodelovat a plynule zobrazovat prvek s takto velkým množstvím otvorů (celkem asi 45 000 děr). Další věc, které na obrázku nejde vidět, je vnější síto PESOS A10, do kterého se buben zavine. Plášť bubnu je po celé délce podpírám rozetami a na jedné straně zakončen krytem, na druhé čelní rozetou, které se od ostatních rozet liší tím, že je upravena pro pásové těsnění bubnu s vanou. Rozety jsou navařeny na hřídel sítového bubnu, která se skládá ze dvou hřídelových čepů a tlustostěnné trubky (viz. obrázek 17).



Obr. 17 Řez sítovým bubnem OK-2500

### **3.3.3 Snímací zařízení**

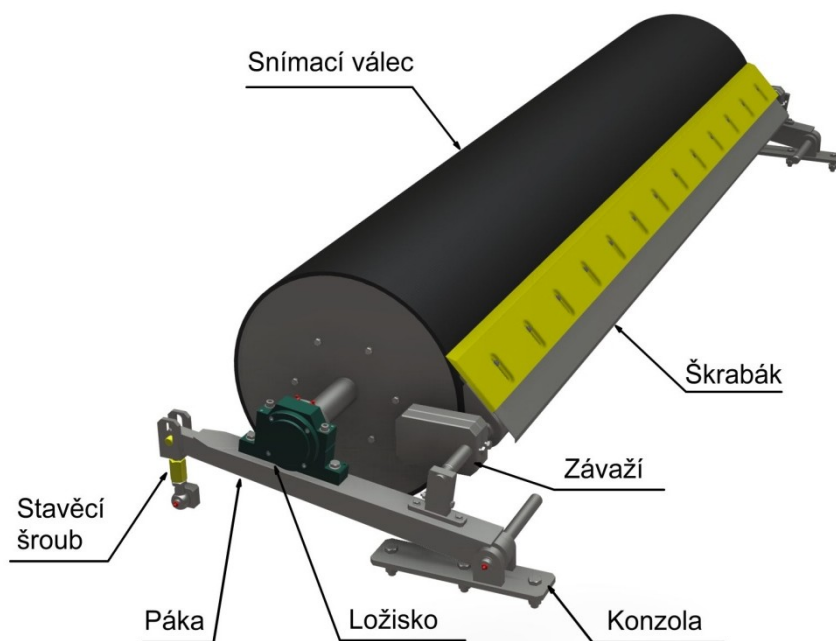
Úkolem tohoto zařízení je snímat zahuštěnou vrstvu pololátky z povrchu síťového bubnu a odvádět ji přes skluz a svod ven ze stroje. Skládá se z těchto částí:

a) Snímací válec - částečně vyroben z nerezové oceli (u součástí, které přichází do styku s pololátkou) a zbytek je z konstrukční oceli 11 523. V kotoučích snímacího válce je po obvodě několik děr pro tělíska závaží, kterými se válec staticky vyvažuje. Plášť válce je vyroben z ocelového plechu na kterém je pryžová vrstva o tvrdosti asi 30° Sh. Válec je uložen na dvouřadých kuličkových ložiskách.

b) Snímací mechanismus - skládá se z páky, konzol a stavěcích šroubů. Pomocí těchto šroubů lze nastavit mezeru mezi snímacím válcem a síťovým bubnem a tím regulovat míru přitlaku. Konec páky je opatřen čepem, který se pohybuje v drážkách držáku. Pohyb kopíruje velikost nerovností, po kterých se snímací válec odvaluje. Materiál všech částí mechanismu je korozivzdorná ocel 1.4541.

#### **c) Škrabák**

Samotný škrabák je vyroben z plastu a několika šrouby je podélně uchycen k tělesu škrabáku, vyrobeném z nerezové oceli. Celé těleso je uloženo v konzoli škrabáku, která je šrouby spojena s pákou. Na čepech škrabáku jsou na každé straně výstředně připevněna dvě závaží, která svou tíhou vytváří přitlak k povrchu snímacího válce. Velikost přitlaku je regulovatelná právě díky možnosti odjímání těchto závaží.



*Obr. 18 Snímací zařízení OK-2500*



### **3.3.4 Přepadová nádrž**

Je vodotěsně svařena s bočnicí vany a vyrobena opět z nerezové oceli. Vnitřní část nádrže (žlab) je rozdělena pomocí několika hradítek. Jejich vyjímáním lze regulovat výšku hladiny uvnitř síťového bubnu a tím i výkon stroje. Čím vyšší totiž bude rozdíl mezi hladinou uvnitř a vně bubnu, tím účinnější odvodňování. Na výstupu pololátky z nádrže je umístěno hrdlo o velikosti DN 250 (viz.obr. 16).

### **3.3.5 Ostříková trubka**

Tato trubka je upevněna k lemu vany nad síťovým bubnem a zajišťuje jeho ostřík za provozu. Vyrobená je z nerezové oceli a má po celé délce několik trysek s plochým ostřikem. Uvnitř trubky je na šestihranné tyči otočně uložený kartáč, kterým lze čistit ucpané trysky bez nutnosti trubku demontovat a rozebírat. Napojení přívodu vody se provádí pomocí hadice o Ø52 mm a odvod přes hadici Ø41 mm.



*Obr. 19 Nízkotlaká ostříková trubka*

## 4. Výpočtová část

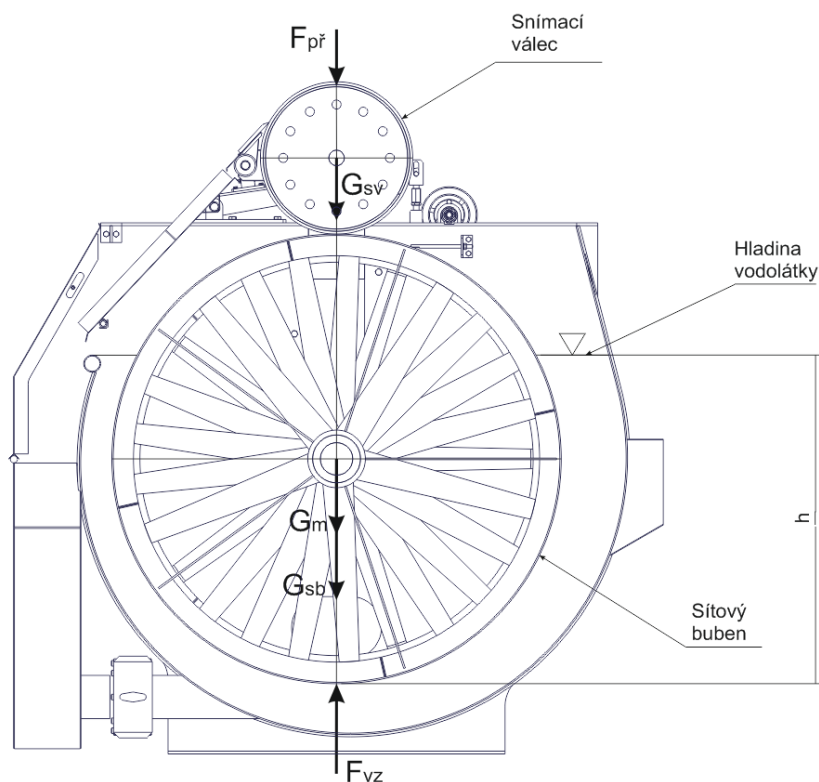
Následující kapitola je věnována výpočtům. Na základě jednotlivých momentů je určen minimální potřebný výkon elektromotoru a v kapitole 4.2 jsou pak provedeny pevnostní výpočty nejdůležitějších částí stroje.

### 4.1 Návrh pohonu

Buben zahušťovacího stroje je poháněn pomocí elektromotoru, přesněji pomocí elektropřevodovky Siemens MOTOX. Přenos momentu na hřídel síťového bubnu je zajištěn těsným perem. V podkapitolách 4.1.1 - 4.1.3 jsou vypočteny všechny momenty pro překonání pasivních odporů, v podkapitolách 4.1.4 - 4.1.5 pak i jmenovitý a rozběhový moment a z nich určen výkon elektromotoru.

#### 4.1.1 Třecí moment v ložiskách

Hřídel síťového bubnu je uložena na dvouřadých válečkových ložiskách SKF, jejichž parametry však v tuto chvíli nejsou ještě známy a proto není možné vypočítat přesný moment pro překonání valivého tření. Pro účely předběžného návrhu však můžeme počítat s momentem čepového tření s nízkou hodnotou součinitele čepového tření  $f_{\text{č}}$ .



Obr. 20 Vazbové síly bubnu a snímacího válce

### **Tíha síťového bubnu**

$$G_{sb} = m_{sb} \cdot g \quad (4.1)$$

$$G_{sb} = 1031,5 \cdot 9,81$$

$$\underline{G_{sb} = 10\,119,02\,N}$$

Kde:

$m_{sb}$  ... hmotnost síťového bubnu (dle Autodesk Inventor) [kg]

$g$  ... tíhové zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

### **Tíha snímacího válce**

$$G_{sv} = m_{sv} \cdot g \quad (4.2)$$

$$G_{sv} = 467,3 \cdot 9,81$$

$$\underline{G_{sv} = 4584,21\,N}$$

Kde:

$m_{sv}$  ... hmotnost snímacího válce (dle Autodesk Inventor) [kg]

### **Tíha elektromotoru**

$$G_m = m_m \cdot g \quad (4.3)$$

$$G_m = 256 \cdot 9,81$$

$$\underline{G_m = 2511,36\,N}$$

Kde:

$m_m$  ... hmotnost elektromotoru [kg] [2]

### **Vztlaková síla**

$$F_{vz} = \rho_v \cdot g \cdot V_{psb} \quad (4.4)$$

$$F_{vz} = 998 \cdot 9,81 \cdot 0,123$$

$$\underline{F_{vz} = 1201,96\,N}$$

Kde:

$\rho_v$  ... hustota vodolátky [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$V_{psb}$  ... objem ponořené části bubnu (dle Autodesk Inventor) [ $\text{m}^3$ ]

#### Uvolnění snímacího válce

$$\sum F_y = 0: N_{sv} - G_{sv} - F_{př} = 0 \quad (4.5)$$

$$N_{sv} = G_{sv} + F_{př}$$

$$N_{sv} = 4584,21 + 170$$

$$\underline{N_{sv} = 4754,21 \text{ N}}$$

$$F_t = \frac{N_{sv}}{\frac{D_{sv}}{2}} \cdot \xi \quad (4.6)$$

$$F_t = \frac{4754,21}{\frac{542}{2}} \cdot 10 = \underline{175,43 \text{ N}}$$

Kde:

$G_{sv}$  ... tíha snímacího válce [N]

$N_{sv}$  ... normálová síla snímacího válce [N]

$F_t$  ... třecí síla [N]

$F_{př}$  ... přitlačná síla snímacího válce [N]

$\xi$  ... součinitel val. tření (pryž-ocel  $\xi = 10$ )

$D_{sv}$  ... průměr snímacího válce [mm]

#### Uvolnění síťového bubnu

$$\sum F_y = 0: F_{vz} - G_m - G_{sb} + N_{sb} - N_{sv} = 0 \quad (4.7)$$

$$N_{sb} = N_{sv} - F_{vz} + G_m + G_{sb}$$

$$N_{sb} = 4754,21 - 1201,96 + 2511,36 + 10119,02$$

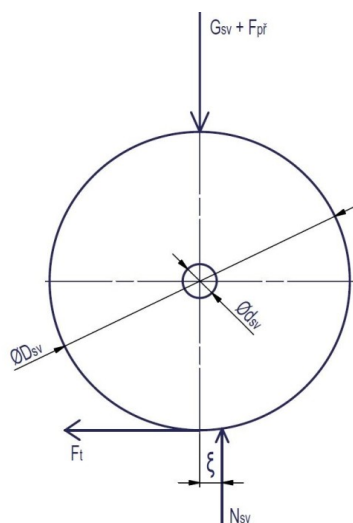
$$\underline{N_{sb} = 16182,63 \text{ N}}$$

Kde:

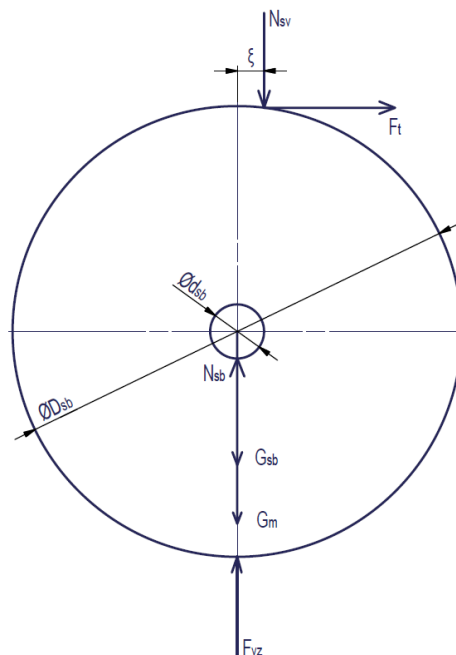
$G_m$  ... tíha elektromotoru [N]

$G_{sb}$  ... tíha síťového bubnu [N]

$N_{sb}$  ... normálová síla síťového bubnu [N]



Obr. 21 Síly na snímacím válci



Obr. 22 Síly na sítovém bubnu

#### Moment čepového tření snímacího válce

$$M_{\check{c}sv} = N_{sv} \cdot \left( \xi + \mu_{\check{c}} \cdot \frac{d_{sv}}{2} \right) \quad (4.8)$$

$$M_{\check{c}sv} = 4754,21 \cdot \left( 10 + 0,02 \cdot \frac{50}{2} \right)$$

$$M_{\check{c}sv} = 49919,24 \text{ N.mm} = \underline{49,92 \text{ N.m}}$$

Kde:

$\mu_{\check{c}}$  ... součinitel čepového tření

$d_{sv}$  ... průměr čepu snímacího válce u ložiska

#### Moment čepového tření sítového bubnu

$$M_{\check{c}sb} = N_{sb} \cdot \left( \xi + \mu_{\check{c}} \cdot \frac{d_{sb}}{2} \right) \quad (4.9)$$

$$M_{\check{c}sb} = 16182,63 \cdot \left( 10 + 0,02 \cdot \frac{90}{2} \right)$$

$$M_{\check{c}sb} = 62106,5 \text{ N.mm} = \underline{62,11 \text{ N.m}}$$

Kde:

$d_{sb}$  ... průměr čepu sítového bubnu u ložiska

### **Celkový moment čepového tření**

$$M_{\check{c}c} = M_{\check{c}sb} + M_{\check{c}sv} \quad (4.10)$$

$$M_{\check{c}c} = 49,92 + 62,11$$

$$\underline{M_{\check{c}c} = 112,03 \text{ N.m}}$$

Kde:

$M_{\check{c}sv}$  ... moment čepového tření snímacího válce [N.m]

$M_{\check{c}sb}$  ... moment čepového tření síťového bubnu [N.m]

### **4.1.2 Moment pro překonání pásového tření na těsnění bubnu**

Mezi další pasivní odpory, se kterými je třeba při návrhu pohonu počítat, je pásové tření. Buben je s bočnicí vany utěsněn pomocí obtočeného měkčeného PVC pásu po celém obvodu (úhel opásání 360°). Při výpočtu vycházíme z toho, že minimální utahovací síla k zajištění těsnosti se musí rovnat hydrostatické síle  $F_h$ .

### **Hydrostatický tlak**

$$p_h = \rho_v \cdot g \cdot h \quad (4.11)$$

$$p_h = 998 \cdot 9,81 \cdot 1,17$$

$$\underline{p_h = 0,012 \text{ MPa}}$$

Kde:

$h$  ... hloubka ponořeného bubnu (viz. obr.20 - odečteno v Autodesk Inventor) [m]

### **Těsnící plocha**

$$S_t = \pi \cdot D_t \cdot b_t \quad (4.12)$$

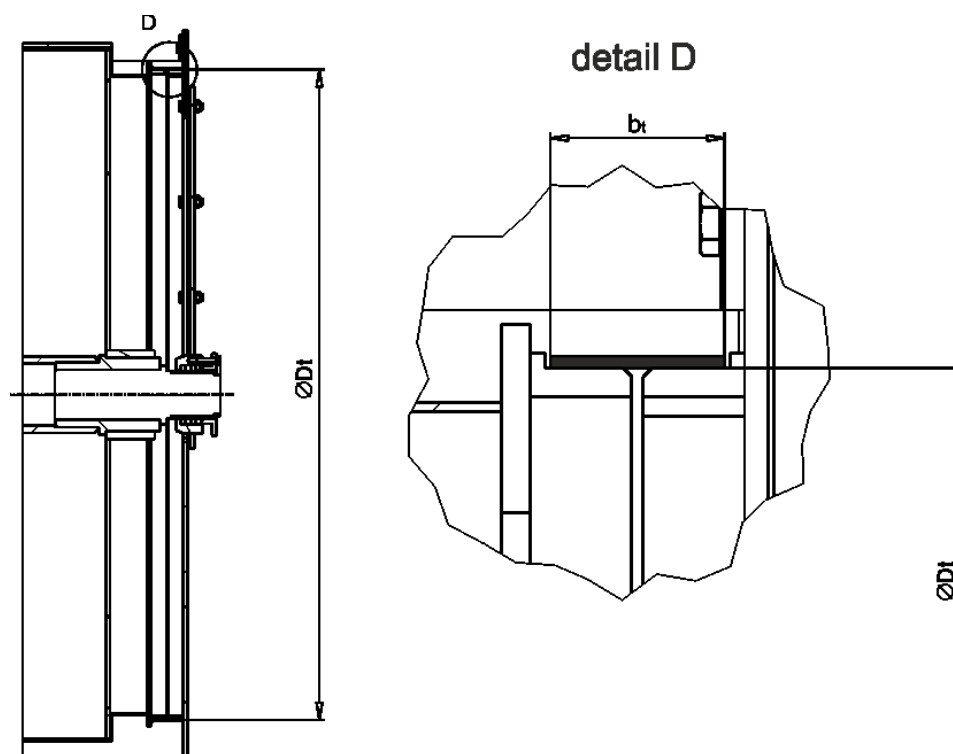
$$S_t = \pi \cdot 1500 \cdot 60$$

$$\underline{S_t = 282\,743,3 \text{ mm}^2}$$

Kde:

$D_t$  ... těsnící průměr [mm]

$b_t$  ... šířka těsnění [mm] (viz. obr 23)



Obr. 23 Těsnění síťového bubnu

#### Hydrostatická tlaková síla

$$F_{ph} = p_h \cdot S_t \quad (4.13)$$

$$F_{ph} = 0,012 \cdot 282743,3$$

$$\underline{F_{ph} = 3236,4 \text{ N}}$$

Kde:

$p_h$  ... hydrostatický tlak [MPa]

$S_t$  ... plocha těsnění [mm<sup>2</sup>]

#### Třecí těsnicí síla

$$F_{te} = F_{ph} \cdot \mu \quad (4.14)$$

$$F_{te} = 3236,4 \cdot 0,3$$

$$\underline{F_{te} = 970,92 \text{ N}}$$

Kde:

$F_{ph}$  ... hydrostatická tlaková síla [N]

$\mu$  ... součinitel smykového tření pro PVC-Ocel (vlhké prostředí) [1]

### Třecí moment

$$M_t = 2 \cdot \left( F_{te} \cdot \frac{D_t}{2} \right) \quad (4.15)$$

$$M_t = 2 \cdot \left( 970,92 \cdot \frac{1500}{2} \right)$$

$$M_t = 1456380 \text{ N} \cdot \text{mm} = \underline{1456,38 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

Kde:

$F_{te}$  ... třecí těsnící síla [N]

### 4.1.3 Moment pro zrychlení rotujících hmot

#### Celkový moment setrvačnosti

$$I_{xc} = I_{xsb} + I_{xsv} + m_{sv} \cdot a^2 \quad (4.16)$$

$$I_{xc} = 1071,29 + 337,41 + 467,3 \cdot 1,071^2$$

$$\underline{I_{xc} = 1944,71 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

Kde:

$I_{xsb}$  ... kvadratický moment setrvačnosti síťového bubnu (dle Autodesk Inventor) [kg.m<sup>2</sup>]

$I_{xsv}$  ... kvadratický moment setrvačnosti snímacího válce (dle Autodesk Inventor) [kg.m<sup>2</sup>]

$a$  ... vzdálenost mezi osami snímacího válce a bubnu [m]

#### Úhlová rychlost

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{pm}}{60} \quad (4.17)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 17}{60}$$

$$\underline{\omega = 1,78 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Kde:

$n_{pm}$  ... požadované otáčky elektromotoru [min<sup>-1</sup>]



#### **Moment pro zrychlení rotujících hmot**

$$M_h = I_{xc} \cdot \frac{\omega}{t_r} \quad (4.18)$$

$$M_h = 1944,71 \cdot \frac{1,78}{2}$$

$$\underline{M_h = 1730,14 \text{ N.m}}$$

Kde:

$I_{xc}$  ... celkový moment setrvačnosti [kg.m<sup>2</sup>]

$\omega$  ... úhlová rychlost [rad.s<sup>-1</sup>]

$t_r$  ... čas pro rozběh elektromotoru [s] [2]

#### **4.1.4 Jmenovitý moment**

$$M_j = k_d \cdot (M_{\dot{c}c} + M_t) \quad (4.19)$$

$$M_j = 1,5 \cdot (112,03 + 1456,38)$$

$$\underline{M_j = 2352,61 \text{ N.m}}$$

Kde:

$k_d$  ... součinitel zahrnující dynamické požadavky, u zahušťovačů je  $k_d = 1,5$

$M_{\dot{c}c}$  ... celkový moment čepového tření [N.m]

$M_t$  ... třecí moment [N.m]

#### **4.1.5 Rozběhový moment**

$$M_R = M_h + M_j \quad (4.20)$$

$$M_R = 1730,14 + 2352,61$$

$$\underline{M_R = 4082,75 \text{ N.m}}$$

Kde:

$M_h$  ... moment pro zrychlení rotujících hmot [N.m]

$M_j$  ... jmenovitý moment [N.m]

#### 4.1.6 Minimální výkon elektromotoru

$$P_m = \frac{M_j \cdot n_{pm}}{9550 \cdot \eta} \quad (4.21)$$

$$P_m = \frac{2352,61 \cdot 17}{9550 \cdot 0,8}$$

$$\underline{P_m = 5,24 \text{ kW}}$$

Kde:

$\eta$  ... účinnost mechanismu [-]

#### 4.1.7 Volba elektromotoru

Na základě vypočteného výkonu byla v katalogu Siemens MOTOX [2] zvolená plochá elektropřevodovka typ FDAD128B-LA132SB4 o výkonu 5,5 KW s parametry uvedenými v tabulce 3. Výstupní otáčky elektromotoru jsou  $n_{vm} = 19 \text{ min}^{-1}$ , což se liší od požadovaných otáček. Proto bude spolu s elektromotorem použit frekvenční měnič, jenž umožní měnit otáčky a tím i obvodovou rychlost síťového bubnu. Změnou obvodové rychlosti bubnu lze regulovat i celkový výkon stroje neboť se mění intenzita průniku vody sítím bubnu. Při snížení otáček výkon klesá, po zvýšení opět roste ale jen do určité meze. Příliš velké otáčky totiž způsobují pomalejší pronikání vody sítím a horší vytváření látkové vrstvy na povrchu bubnu. V praxi se tedy u těchto strojů používá otáček v rozmezí  $12 \div 17 \text{ min}^{-1}$  podle velikosti stroje (průměru bubnu).

#### 4.1.8 Záběrový moment

$$M_Z = 2 \cdot M_v \quad (4.22)$$

$$M_Z = 2 \cdot 2471$$

$$\underline{M_Z = 5482 \text{ N.m}}$$

Vypočtený záběrový moment musí být větší nebo roven momentu rozběhovému.

$$M_Z \geq M_R$$

$$5482 \geq 4082,75 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

$M_R$  ... rozběhový moment [N.m]

$M_Z$  ... záběrový moment [N.m]

Tab. 3 Parametry elektromotoru

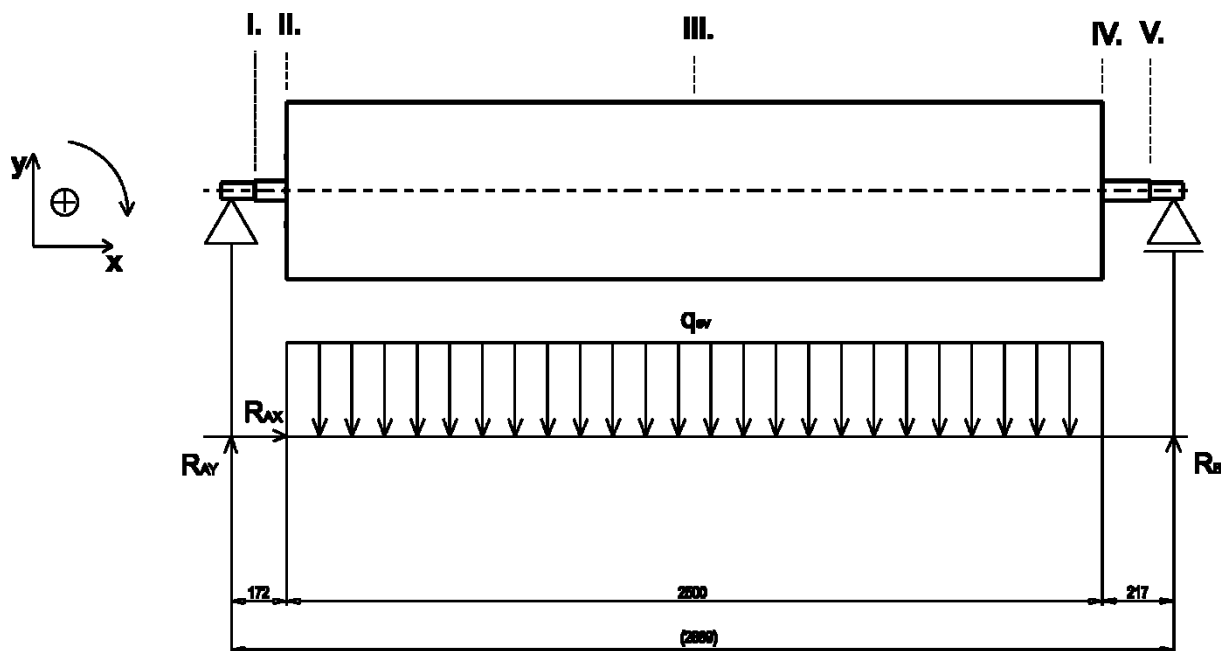
<b>Typ:</b>	Plochá elektropřevodovka	
<b>Typové označení:</b>	FDAD128B-LA132SB4	
<b>Data převodovky</b>		
Stavební poloha	H-02-A	
Nominální moment	6.100	[Nm]
Výstupní moment	2.741	[Nm]
Provozní součinitel	2,2	
Převodový poměr	75.93	[1/x]
Výstupní otáčky	19	[1/min]
Typ uchycení	Momentové rameno (Standard)	
Výstupní hřídel	Dutá hřídel (H80 x 300)	
Typ spojení	pero	
<b>Data motoru</b>		
Výkon motoru	5,5	[kW]
Asynchronní otáčky	1.455	[1/min]
Počet pólů	4	
Napětí motoru	400	[V]
Frekvence	50	[Hz]
Jmenovitý proud	11	[A]
Rel. záběrový proud	6,3	[IA/IN]
Krytí elektropřevodovky	IP55	
Chlazení	Vlastní chlazení	
Materiál ventilátoru	plastový ventilátor	
Zapojení (rozběh)	D (D)	
Druh provozu na síti	S9	
<b>Vybavení převodovky</b>		
Ložiska výst. hřídele	Ložisko standardní	
Těsnění výst. hřídele	Těsnící kroužek	
Kryt hřídele	Uzavírací víčko	
Kontrola stavu oleje	Olejevá měrka	
Vypouštění oleje	Vypouštěcí šroub	
Odvzdušnění	Odvzdušňovací filtr	
Převodový olej	Minerální olej ISO VG220	
Množství oleje	13,5	[l]
Materiál skříně	Šedá litina	
<b>Obecná data</b>		
Nátěr	C2	
Hmotnost cca.	256	[kg]

## 4.2 Pevnostní kontrola

V následujících pěti kapitolách je provedena pevnostní kontrola pro klíčové části zahušťovacího stroje. Jedná se především o snímací válec, jenž je uložena ve dvouřadých kuličkových ložiskách a působí na něj pouze jeho vlastní tíha. Hřídelové čepy snímacího válce jsou tedy zatěžovány pouze ohybem.

Dále je nutno zkontrolovat hřídel síťového bubnu. Ta je uložena ve dvouřadých soudečkových ložiskách a je namáhána jednak tíhou síťového bubnu, tak částečně i tíhou snímacího válce. Částečně proto, že snímací válec je pomocí snímacího zařízení nastaven tak, aby mezi pláštěm bubnu a válce byla mezera asi 0,5 - 3 mm (nastavuje se podle druhu zpracovávané pololátky), tudíž snímací válec nepřenáší celou svou tíhu na síťový buben, ale jen její část a to při snímání látky. Budeme proto počítat s třetinou jeho tíhy. Dále je nutno s počítat s liniovým zatížením od elektromotoru a samozřejmě s kroutícím momentem.

### 4.2.1 Hřídelové čepy snímacího válce



Obr. 24 Zatížení snímacího válce

#### Liniové spojitě zatížení

$$q_{sv} = \frac{G_{sv} + F_{př}}{2500} \quad (4.23)$$

$$q_{sv} = \frac{4584,21 + 170}{2500}$$

$$\underline{q_{sv} = 1,902 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

### Podmínky rovnováhy

$$\sum F_x = 0: R_{AX} = 0 \quad (4.24)$$

$$\sum F_y = 0: R_{AY} + R_B - q_{sv} \cdot 2500 = 0 \quad (4.25)$$

$$\sum M_A = 0: q_{sv} \cdot 2500 \cdot \left(\frac{2500}{2} + 172\right) - R_B \cdot 2889 = 0 \quad (4.26)$$

Z rovnice 4.26:

$$R_B = \frac{q_{sv} \cdot 2500 \cdot \left(\frac{2500}{2} + 172\right)}{2889} \quad (4.27)$$

$$R_B = \frac{1,902 \cdot 2500 \cdot \left(\frac{2500}{2} + 172\right)}{2889}$$

$$\underline{R_B = 2340,47 \text{ N}}$$

Z rovnice 4.25:

$$R_{AY} = (q_{sv} \cdot 2500) - R_B \quad (4.28)$$

$$R_{AY} = (1,902 \cdot 2500) - 2340,47$$

$$\underline{R_{AY} = 2414,53 \text{ N}}$$

Kde:

$R_{AX}$  ... silová reakce v bodě A a ose X [N]

$R_{AY}$ ... silová reakce v bodě A a ose Y [N]

$R_B$  ... silová reakce v bodě B a ose Y [N]

$q_{sv}$  ... liniové spojité zatížení snímacího válce [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ]

### Materiál hřídelových čepů

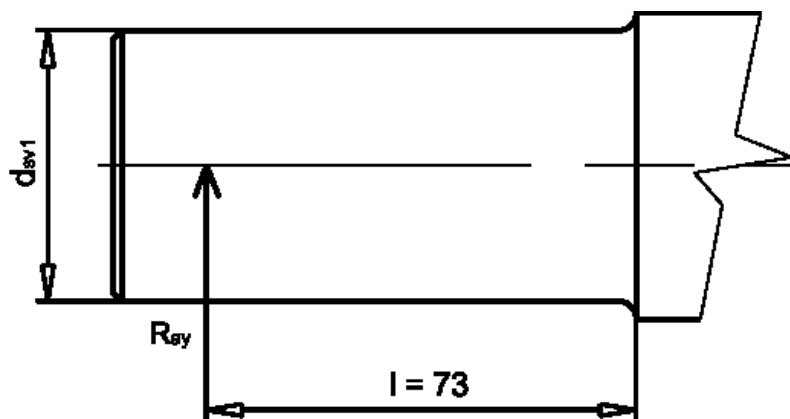
Austenitická korozivzdorná ocel 1.4541 (X6CrNiTi18-10) s těmito mechanickými vlastnostmi [6]:

Mez pevnosti  $R_m = 500 - 700 \text{ MPa}$

Mez kluzu  $R_e = 200 \text{ MPa}$

Modul pružnosti  $E = 200 \text{ GPa}$

### Výpočet napětí v průřezu I.



Obr. 25 Průřez I. snímacího válce

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sv1}^3}{32} \quad (4.29)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 50^3}{32}$$

$$\underline{W_o = 12\,271,85 \text{ mm}^3}$$

Ohybový moment:

$$M_o = R_{AY} \cdot l \quad (4.30)$$

$$M_o = 2414,53 \cdot 73$$

$$\underline{M_o = 176\,260,69 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (4.31)$$

$$\sigma_o = \frac{176\,260,69}{12\,271,85}$$

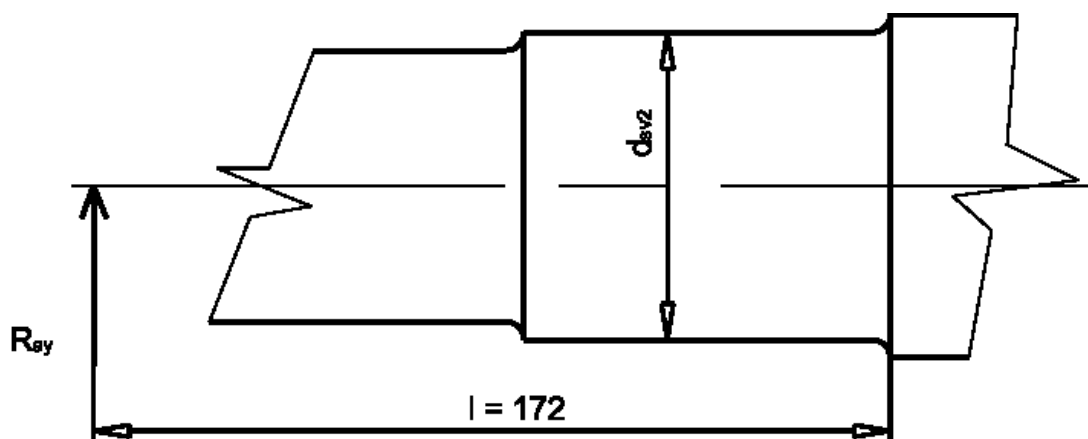
$$\underline{\sigma_o = 14,36 \text{ MPa}}$$

Kde:

$d_{sv1}$  ... průměr čepu snímacího válce v průřezu I. [mm]

$l$  ... délka ramena ohybu [mm]

Výpočet napětí v průřezu II.



Obr. 26 Průřez II. snímacího válce

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sv2}^3}{32} \quad (4.32)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 60^3}{32}$$

$$W_o = 21\,205,75 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment:

$$M_o = R_{AY} \cdot l \quad (4.33)$$

$$M_o = 2414,53 \cdot 172$$

$$M_o = 415\,299,16 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (4.34)$$

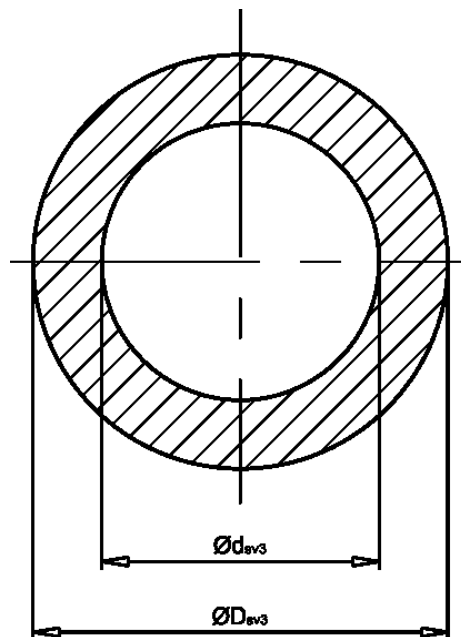
$$\sigma_o = \frac{415\,299,16}{21\,205,75}$$

$$\sigma_o = 19,58 \text{ MPa}$$

Kde:

$d_{sv2}$  ... průměr čepu snímacího válce v průřezu II. [mm]

## Výpočet napětí v průřezu III.



Obr. 27 Průřez III. snímacího válce

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi}{32} - \frac{D_{sv3}^4 - d_{sv3}^4}{D_{sv3}} \quad (4.35)$$

$$W_o = \frac{\pi}{32} - \frac{522^4 - 500^4}{522}$$

$$\underline{W_o = 2209408,21 \text{ mm}^3}$$

Maximální ohybový moment (dle [1]):

$$M_o = \frac{q_{sv} \cdot 2500^2}{8} = \frac{1,902 \cdot 2500^2}{8} = \underline{1\,485\,937,5 \text{ N} \cdot \text{mm}} \quad (4.36)$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{1485937,5}{2209408,21} = \underline{0,67 \text{ MPa}} \quad (4.37)$$

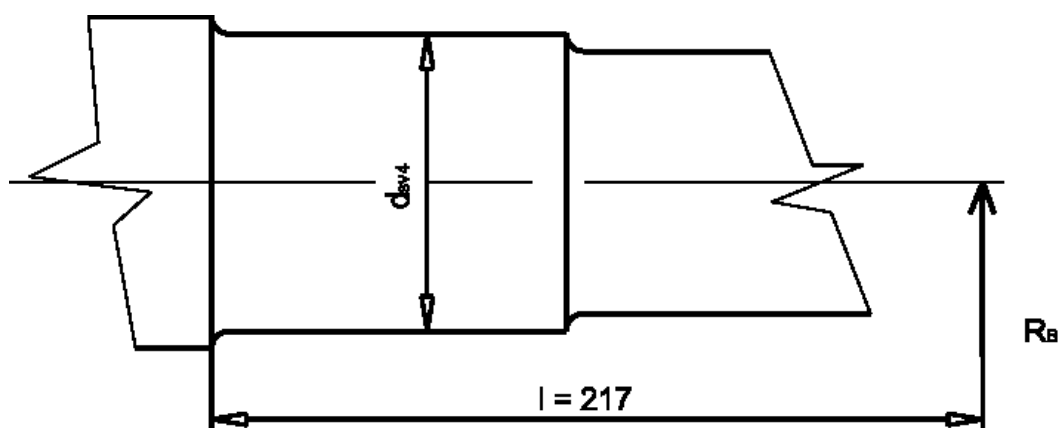
Kde:

$D_{sv3}$  ... vnější průměr pláště snímacího válce v průřezu III. [mm]

$d_{sv3}$  ... vnitřní průměr pláště snímacího válce v průřezu III. [mm]



Výpočet napětí v průřezu IV.



Obr. 28 Průřez IV. snímacího válce

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sv4}^3}{32} \quad (4.38)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 60^3}{32}$$

$$W_o = 21\,205,75 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment:

$$M_o = R_B \cdot l \quad (4.39)$$

$$M_o = 2340,47 \cdot 217$$

$$M_o = 507\,881,99 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (4.40)$$

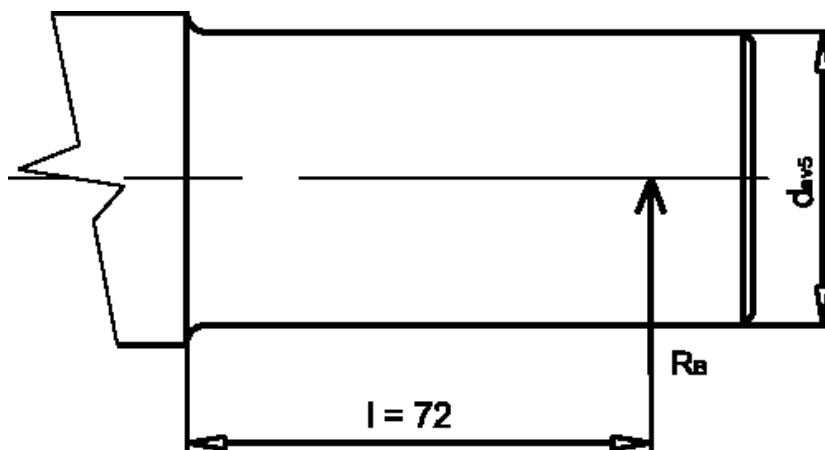
$$\sigma_o = \frac{507\,881,99}{21\,205,75}$$

$$\sigma_o = 23,95 \text{ MPa}$$

Kde:

$d_{sv4}$  ... průměr čepu snímacího válce v průřezu IV. [mm]

**Výpočet napětí v průřezu V.**



Obr. 29 Průřez V. snímacího válce

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sv5}^3}{32} \quad (4.41)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 50^3}{32}$$

$$\underline{W_o = 12\,271,85 \text{ mm}^3}$$

Ohybový moment:

$$M_o = R_B \cdot l \quad (4.42)$$

$$M_o = 2340,47.72$$

$$\underline{M_o = 168\,513,84 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (4.43)$$

$$\sigma_o = \frac{168\,513,84}{12\,271,85}$$

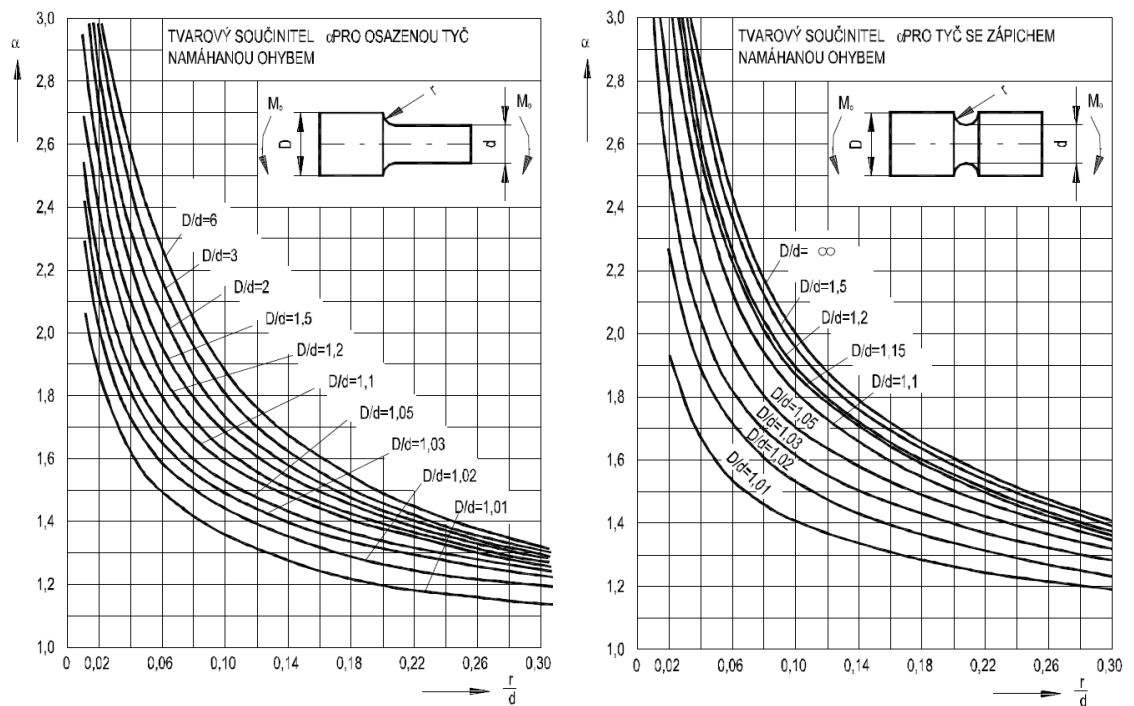
$$\underline{\sigma_o = 13,73 \text{ MPa}}$$

Kde:

$d_{sv5}$  ... průměr čepu snímacího válce v průřezu V. [mm]

## Bezpečnost a koncentrátoři napětí

Koncentrátoři napětí jsou vruby a další změny tvaru vyskytující se na hřídeli. Typicky se jedná o zápichy, drážky nebo přechody mezi průměry, v nichž vzniká koncentrace napětí. Jejich vliv se vyjadřuje součinitelem koncentrace napětí konstrukčního vrubu  $\alpha_{\sigma 0}$  který se stanovuje podle grafu - viz. obr. 30. S tímto součinitelem se pak počítá ve vzorci pro určení bezpečnosti.



Obr. 30 Diagramy pro určení  $\alpha_{\sigma 0}$  při ohybovém namáhání [7]

Součinitel bezpečnosti v průřezu I.

$$k_{s1} = \frac{R_e}{\alpha_{\sigma 0} \cdot \sigma_o} \quad (4.44)$$

$$k_{s1} = \frac{200}{2,1 \cdot 14,36}$$

$$k_{s1} = 6,63 [-]$$

Kde:

$R_e$ ... mez kluzu [MPa]

$\alpha_{\sigma 0}$  ... součinitel koncentrace napětí pro daný průřez [-]

$\sigma_o$  ... ohybové napětí pro daný průřez [MPa]

Součinitel bezpečnosti v průřezu II.

$$k_{s2} = \frac{R_e}{\alpha_{\sigma 0} \cdot \sigma_o} \quad (4.45)$$

$$k_{s2} = \frac{200}{1,3 \cdot 19,58}$$

$$\underline{k_{s2} = 7,86 [-]}$$

Součinitel bezpečnosti v průřezu III.

$$k_{s3} = \frac{R_e}{\sigma_o} \quad (4.46)$$

$$k_{s3} = \frac{200}{0,67}$$

$$\underline{k_{s3} = 298,5 [-]}$$

Součinitel bezpečnosti v průřezu IV.

$$k_{s4} = \frac{R_e}{\alpha_{\sigma 0} \cdot \sigma_o} \quad (4.47)$$

$$k_{s4} = \frac{200}{1,3 \cdot 23,95}$$

$$\underline{k_{s4} = 6,42 [-]}$$

Součinitel bezpečnosti v průřezu V.

$$k_{s5} = \frac{R_e}{\alpha_{\sigma 0} \cdot \sigma_o} \quad (4.48)$$

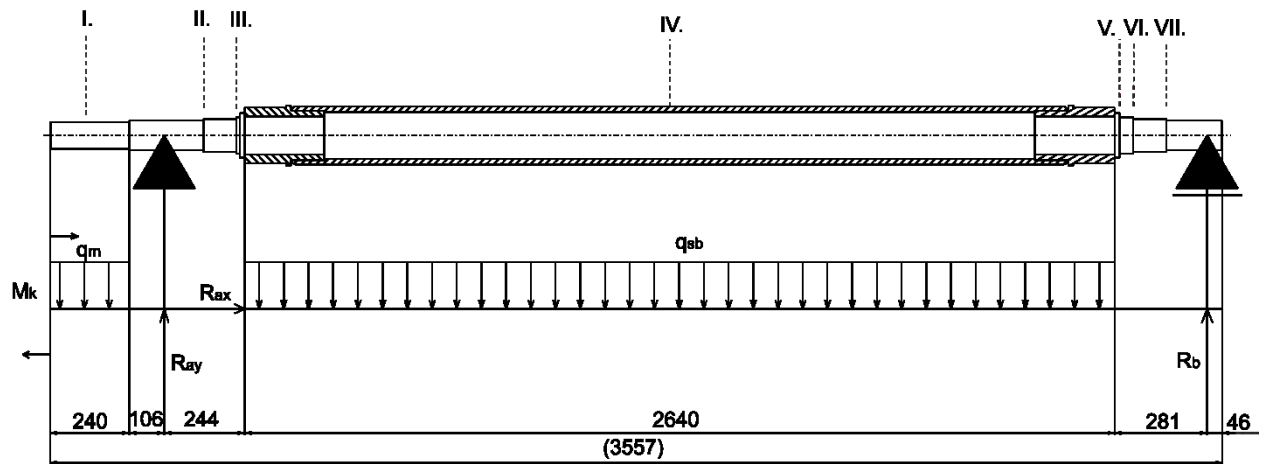
$$k_{s5} = \frac{200}{2,1 \cdot 13,37}$$

$$\underline{k_{s5} = 7,12 [-]}$$

Tab.4 Shrnutí výsledků jednotlivých průřezů

Průřez	Ohybové napětí $\sigma_o$ [MPa]	Součinitel bezpečnosti $k_s$ [-]
I.	14,36	6,63
II.	19,58	7,86
III.	0,67	298,5
IV.	23,95	6,42
V.	13,37	7,12

## 4.2.2 Hřídél síťového bubnu



Obr. 31 Zatížení hřídele síťového bubnu

## Liniové spojité zatížení

$$q_{sb} = \frac{G_{sb}}{2640} + 0,3 \cdot q_{sv} \quad (4.49)$$

$$q_{sb} = \frac{10\,119,02}{2640} + 0,3 \cdot 1,902$$

$$\underline{q_{sb} = 4,40 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

$$q_m = \frac{G_m}{240} \quad (4.50)$$

$$q_m = \frac{2511,36}{240}$$

$$\underline{q_m = 10,46 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}}$$

## Podmínky rovnováhy

$$\sum F_x = 0: R_{AX} = 0 \quad (4.51)$$

$$\sum F_y = 0: -q_m \cdot 240 + R_{AY} - q_{sb} \cdot 2640 + R_B = 0 \quad (4.52)$$

$$\sum M_A = 0: -q_m \cdot 240 \cdot \left( \frac{240}{2} + 106 \right) + q_{sb} \cdot 2640 \cdot \left( \frac{2640}{2} + 244 \right) - R_B \cdot 3165 = 0 \quad (4.53)$$

Z rovnice 4.53

$$R_B = \frac{-q_m \cdot 240 \cdot \left(\frac{240}{2} + 106\right) + q_{sb} \cdot 2640 \cdot \left(\frac{2640}{2} + 244\right)}{3165} \quad (4.54)$$

$$R_B = \frac{-10,46 \cdot 240 \cdot \left(\frac{240}{2} + 106\right) + 4,4 \cdot 2640 \cdot \left(\frac{2640}{2} + 244\right)}{3165}$$

$$\underline{R_B = 5560,85 \text{ N}}$$

Z rovnice 4.52

$$R_{AY} = q_m \cdot 240 + q_{sb} \cdot 2640 - R_B \quad (4.55)$$

$$R_{AY} = 10,46 \cdot 240 + 4,4 \cdot 2640 - 5560,85$$

$$\underline{R_{AY} = 8565,55 \text{ N}}$$

Kde:

$R_{AX}$  ... silová reakce v bodě A a ose X [N]

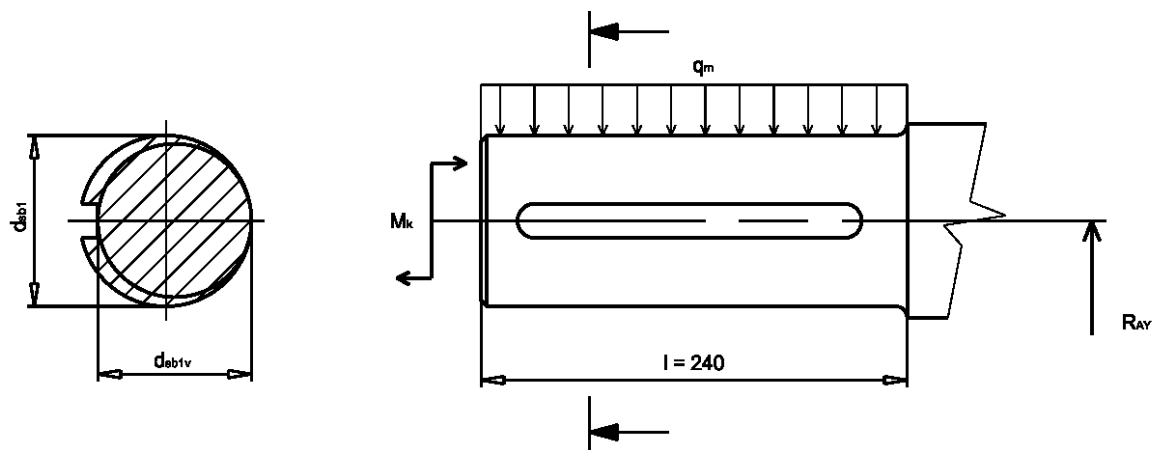
$R_{AY}$ ... silová reakce v bodě A a ose Y [N]

$R_B$  ... silová reakce v bodě B a ose Y [N]

$q_{sb}$  ... liniové spojité zatížení síťového bubnu [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ]

$q_m$  ... liniové spojité zatížení elektromotoru [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ]

### Výpočet napětí v průřezu I.



Obr. 32 Průřez I. síťového bubnu

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sb1v}^3}{32} \quad (4.56)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 71,5^3}{32}$$

$$\underline{W_o = 35\,885,42\,mm^3}$$

Ohybový moment:

$$M_o = q_m \cdot 240 \cdot l \quad (4.57)$$

$$M_o = 10,46 \cdot 240 \cdot \frac{240}{2}$$

$$\underline{M_o = 301\,248\,N \cdot mm}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o}$$

$$\sigma_o = \frac{301248}{35\,885,42}$$

$$\underline{\sigma_o = 8,39\,MPa}$$

Modul průřezu v krutu:

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_{sb1v}^3}{16} \quad (4.59)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot 71,5^3}{16}$$

$$\underline{W_k = 71\,770,84\,mm^3}$$

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k}$$

$$\tau_k = \frac{4082,75 \cdot 10^3}{71\,770,84}$$

$$\underline{\tau_k = 56,89\,MPa}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_k^2} \quad (4.61)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{8,39^2 + 3 \cdot 56,89^2}$$

$$\underline{\sigma_{red} = 98,89 \text{ MPa}}$$

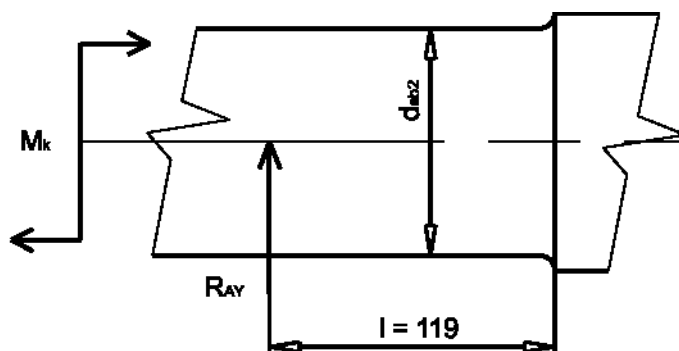
Kde:

$d_{sb1}$  ... průměr hřídele síťového bubnu v průřezu I. [mm]

$d_{sb1v}$  ... výpočtový průměr hřídele síťového bubnu v průřezu I. [mm]

$M_k$ ... výpočtový krouticí moment ( $M_k = M_R$ ) [N.m]

**Výpočet napětí v průřezu II.**



Obr. 33 Průřez II. síťového bubnu

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sb2}^3}{32} \quad (4.62)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 90^3}{32}$$

$$\underline{W_o = 71\,569,41 \text{ mm}^3}$$

Ohybový moment:

$$M_o = R_{Ay} \cdot l \quad (4.63)$$

$$M_o = 8565,55 \cdot 119$$

$$\underline{M_o = 1\,019\,300,45 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$



Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (4.64)$$

$$\sigma_o = \frac{1\,019\,300,45}{71\,569,41}$$

$$\underline{\sigma_o = 14,24\,MPa}$$

Modul průřezu v krutu:

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_{sb2}^3}{16} \quad (4.65)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot 90^3}{16}$$

$$\underline{W_k = 143\,138,82\,mm^3} \quad (4.66)$$

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k}$$

$$\tau_k = \frac{4082,75 \cdot 10^3}{143\,138,82}$$

$$\underline{\tau_k = 28,52\,MPa} \quad (4.67)$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_k^2}$$

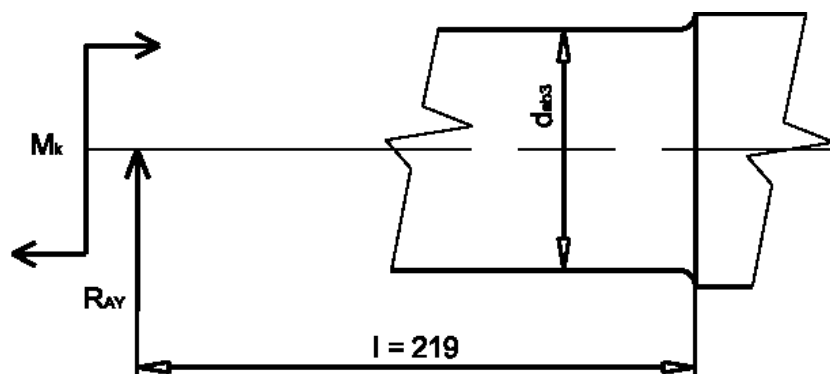
$$\sigma_{red} = \sqrt{14,24^2 + 3 \cdot 28,52^2}$$

$$\underline{\sigma_{red} = 51,41\,MPa}$$

Kde:

$d_{sb2}$ ... průměr hřídele síťového bubnu v průřezu II. [mm]

Výpočet napětí v průřezu III.



Obr. 34 Průřez III. síťového bubnu

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sb3}^3}{32} \quad (4.68)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 100^3}{32}$$

$$W_o = 98\,174,77 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment:

$$M_o = R_{AY} \cdot l \quad (4.69)$$

$$M_o = 8565,55 \cdot 219$$

$$M_o = 1\,875\,855,45 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (4.70)$$

$$\sigma_o = \frac{1\,875\,855,45}{98\,174,77}$$

$$\sigma_o = 19,3 \text{ MPa}$$

Modul průřezu v krutu:

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_{sb3}^3}{16} \quad (4.71)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot 100^3}{16}$$

$$W_k = 196\,349,54 \text{ mm}^3$$

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \quad (4.72)$$

$$\tau_k = \frac{4082,75 \cdot 10^3}{196\,349,54}$$

$$\tau_k = 20,79 \text{ MPa}$$

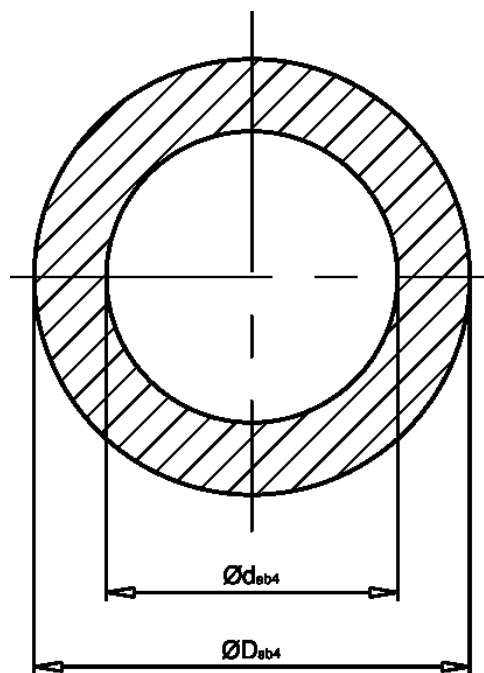
Redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_k^2} = \sqrt{19,3^2 + 3 \cdot 20,79^2} = \underline{40,86 \text{ MPa}} \quad (4.73)$$

Kde:

$d_{sb3}$ ... průměr hřídele síťového bubnu v průřezu III. [mm]

**Výpočet napětí v průřezu IV.**



Obr. 35 Průřez IV. síťového bubnu

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_{sb4}^4 - d_{sb4}^4}{D_{sb4}} \quad (4.74)$$

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{176^4 - 142^4}{176}$$

$$\underline{W_o = 308\,428,14 \text{ mm}^3}$$

Maximální ohybový moment (dle [1]):

$$\begin{aligned}M_o &= \frac{q_{sb} \cdot 2640^2}{8} \\M_o &= \frac{4,4 \cdot 2640^2}{8} \\M_o &= \underline{3\,833\,280\, N \cdot mm}\end{aligned}\tag{4.75}$$

Ohybové napětí:

$$\begin{aligned}\sigma_o &= \frac{M_o}{W_o} \\ \sigma_o &= \frac{3\,833\,280}{308\,428,14} = \underline{12,43\, MPa}\end{aligned}\tag{4.76}$$

Modul průřezu v krutu:

$$\begin{aligned}W_k &= \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D_{sb4}^4 - d_{sb4}^4}{D_{sb4}} \\ W_k &= \frac{\pi}{16} \cdot \frac{176^4 - 142^4}{176} \\ W_k &= \underline{616\,856,27\, mm^3}\end{aligned}\tag{4.77}$$

Napětí v krutu:

$$\begin{aligned}\tau_k &= \frac{M_k}{W_k} \\ \tau_k &= \frac{4082,75 \cdot 10^3}{616\,856,27} \\ \tau_k &= \underline{6,62\, MPa}\end{aligned}\tag{4.78}$$

Redukované napětí:

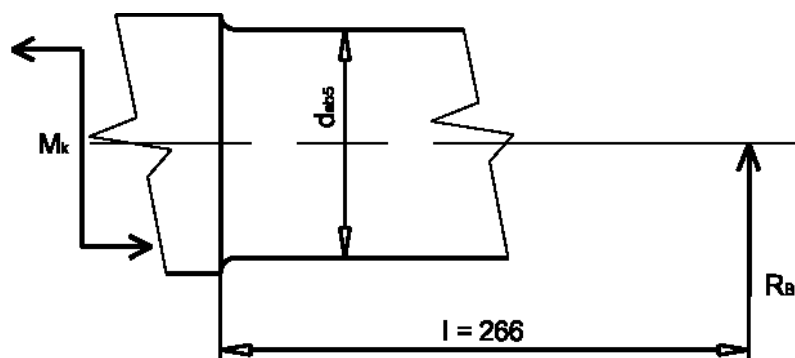
$$\begin{aligned}\sigma_{red} &= \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_k^2} \\ \sigma_{red} &= \sqrt{12,43^2 + 3 \cdot 6,62^2} \\ \sigma_{red} &= \underline{19,91\, MPa}\end{aligned}\tag{4.79}$$

Kde:

$d_{sb4}$ ... vnitřní průměr hřídele síťového bubnu v průřezu IV. [mm]

$D_{sb4}$ ... vnější průměr hřídele síťového bubnu v průřezu IV. [mm]

Výpočet napětí v průřezu V.



Obr. 36 Průřez V. síťového bubnu

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sb5}^3}{32} \quad (4.80)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 110^3}{32}$$

$$\underline{W_o = 130\,670,62 \text{ mm}^3}$$

Ohybový moment:

$$M_o = R_B \cdot l \quad (4.81)$$

$$M_o = 5560,85 \cdot 266$$

$$\underline{M_o = 1\,479\,186,1 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (4.82)$$

$$\sigma_o = \frac{1\,479\,186,1}{130\,670,62}$$

$$\underline{\sigma_o = 11,32 \text{ MPa}}$$

Modul průřezu v krutu:

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_{sb5}^3}{16} \quad (4.83)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot 110^3}{16}$$

$$\underline{W_k = 261\,341,24 \text{ mm}^3}$$

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \quad (4.84)$$

$$\tau_k = \frac{4082,75 \cdot 10^3}{261\,341,24}$$

$$\tau_k = 15,62 \text{ MPa}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_k^2} \quad (4.85)$$

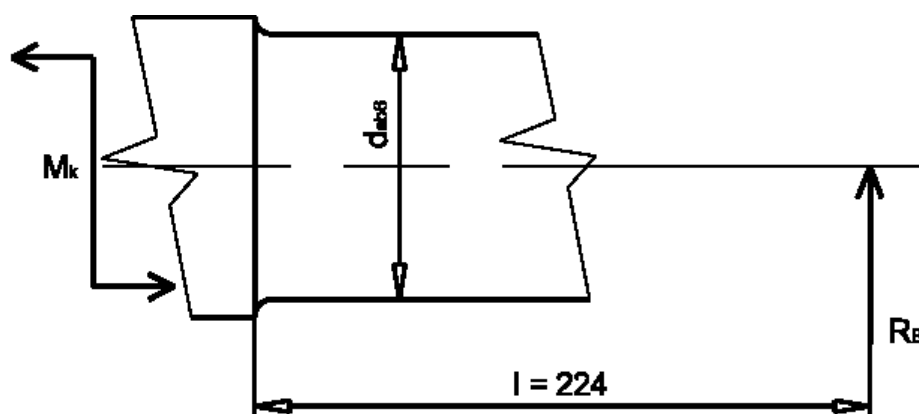
$$\sigma_{red} = \sqrt{11,32^2 + 3 \cdot 15,62^2}$$

$$\sigma_{red} = 29,33 \text{ MPa}$$

Kde:

$d_{sb5}$ ... průměr hřídele síťového bubnu v průřezu V. [mm]

**Výpočet napětí v průřezu VI.**



Obr. 37 Průřez VI. síťového bubnu

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sb6}^3}{32} \quad (4.86)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 100^3}{32}$$

$$W_o = 98\,174,77 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment: (4.87)

$$M_o = R_B \cdot l$$

$$M_o = 5560,85 \cdot 224$$

$$\underline{M_o = 1\,245\,630,4 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Ohybové napětí: (4.88)

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o}$$

$$\sigma_o = \frac{1\,245\,630,4}{98\,147,77}$$

$$\underline{\sigma_o = 12,69 \text{ MPa}}$$

Modul průřezu v krutu:

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_{sb6}^3}{16} \quad (4.89)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot 100^3}{16}$$

$$\underline{W_k = 196\,349,54 \text{ mm}^3}$$

Napětí v krutu: (4.90)

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k}$$

$$\tau_k = \frac{4082,75 \cdot 10^3}{196\,349,54}$$

$$\underline{\tau_k = 20,79 \text{ MPa}}$$

Redukované napětí: (4.91)

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_k^2}$$

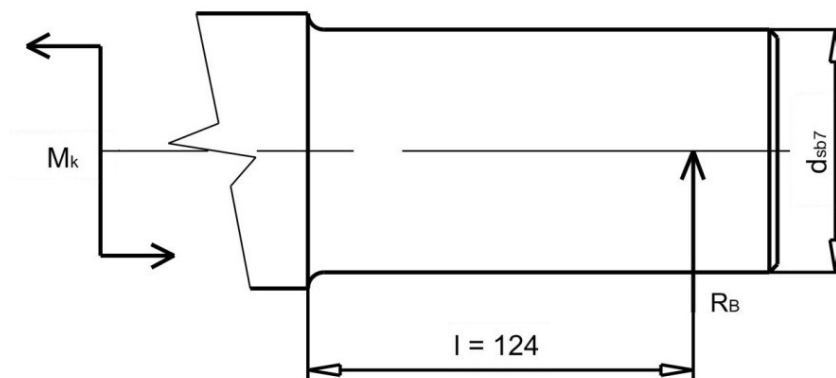
$$\sigma_{red} = \sqrt{12,69^2 + 3 \cdot 20,79^2}$$

$$\underline{\sigma_{red} = 38,18 \text{ MPa}}$$

Kde:

$d_{sb6}$ ... průměr hřídele síťového bubnu v průřezu V. [mm]

## Výpočet napětí v průřezu VII.



Obr. 38 Průřez VII. sítového bubnu

Modul průřezu v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{sb7}^3}{32} \quad (4.92)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 90^3}{32}$$

$$\underline{W_o = 71\,569,41 \text{ mm}^3}$$

Ohybový moment:

$$M_o = R_B \cdot l \quad (4.93)$$

$$M_o = 5560,85 \cdot 124$$

$$\underline{M_o = 689\,545,4 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (4.94)$$

$$\sigma_o = \frac{689\,545,4}{71\,569,41}$$

$$\underline{\sigma_o = 9,64 \text{ MPa}}$$

Modul průřezu v krutu:

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_{sb7}^3}{16} \quad (4.95)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot 90^3}{16}$$

$$\underline{W_k = 143\,138,82 \text{ mm}^3}$$



Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \quad (4.96)$$

$$\tau_k = \frac{4082,75 \cdot 10^3}{143 \cdot 138,82}$$

$$\underline{\tau_k = 28,52 \text{ MPa}}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_k^2} = \sqrt{9,64^2 + 3 \cdot 28,52^2} = \underline{50,33 \text{ MPa}} \quad (4.97)$$

Kde:

$d_{sb7...}$  průměr hřídele síťového bubnu v průřezu V. [mm]

### Bezpečnost a koncentrátoři napětí

Součinitel bezpečnosti v průřezu I.

$$k_{s1} = \frac{R_e}{\sigma_{red}} \quad (4.98)$$

$$k_{s1} = \frac{200}{98,89}$$

$$\underline{k_{s1} = 2,02 [-]}$$

Kde:

$\sigma_{red} ...$  redukované napětí pro daný průřez [MPa]

Součinitel bezpečnosti v průřezu II.

$$k_{s2} = \frac{R_e}{\alpha_{\sigma 0} \cdot \sigma_{red}} \quad (4.99)$$

$$k_{s2} = \frac{200}{1,9 \cdot 51,41}$$

$$\underline{k_{s2} = 2,05 [-]}$$

Kde:

$\alpha_{\sigma 0} ...$  součinitel koncentrace napětí pro daný průřez (viz. obr.30) [-]

Součinitel bezpečnosti v průřezu III.

$$k_{s3} = \frac{R_e}{\alpha_{\sigma 0} \cdot \sigma_{red}} \quad (4.100)$$

$$k_{s3} = \frac{200}{2,4 \cdot 40,86}$$

$$\underline{k_{s3} = 2,04 [-]}$$

Součinitel bezpečnosti v průřezu IV.

$$k_{s4} = \frac{R_e}{\sigma_{red}} \quad (4.101)$$

$$k_{s4} = \frac{200}{19,91}$$

$$\underline{k_{s4} = 10,05 [-]}$$

Součinitel bezpečnosti v průřezu V.

$$k_{s5} = \frac{R_e}{\alpha_{\sigma 0} \cdot \sigma_{red}} \quad (4.102)$$

$$k_{s5} = \frac{200}{2,1 \cdot 29,33}$$

$$\underline{k_{s5} = 3,25 [-]}$$

Součinitel bezpečnosti v průřezu VI.

$$k_{s6} = \frac{R_e}{\alpha_{\sigma 0} \cdot \sigma_{red}} \quad (4.103)$$

$$k_{s6} = \frac{200}{2,4 \cdot 38,18}$$

$$\underline{k_{s6} = 2,18 [-]}$$

Součinitel bezpečnosti v průřezu VII.

$$k_{s7} = \frac{R_e}{\alpha_{\sigma 0} \cdot \sigma_{red}} \quad (4.104)$$

$$k_{s7} = \frac{200}{1,9 \cdot 50,33}$$

$$\underline{k_{s7} = 2,09 [-]}$$

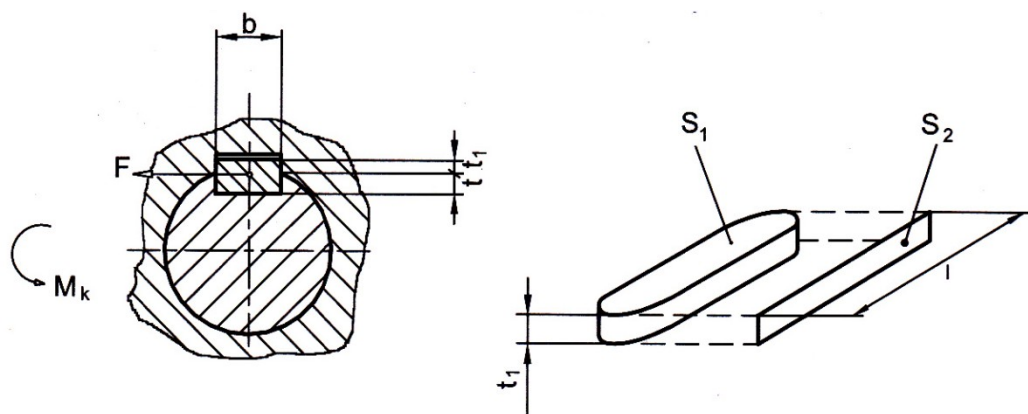
Tab.5 Shrnutí výsledků jednotlivých průřezů

Průřez	Redukované napětí $\sigma_{\text{red}}$ [MPa]	Součinitel bezpečnosti $k_s$ [-]
I.	98,89	2,02
II.	51,41	2,05
III.	40,86	2,04
IV.	19,91	10,05
V.	29,33	3,25
VI.	38,18	2,18
VII.	50,33	2,09

#### 4.2.3 Kontrola pera

Přenos kroutícího momentu z elektromotoru na hřídel síťového bubnu je realizován pomocí pera:

**PERO 22e7 x 14 x 220 ČSN 02 2562**



Obr. 39 Rozměry pera [8]

$$b = 22 \text{ mm}$$

$$l = 220 \text{ mm}$$

$$h = 14 \text{ mm}$$

$$t = 8,5 \text{ mm}$$

$$t_1 = 5,3 \text{ mm}$$

### Kontrola na smyk

$$F_s = \frac{2 \cdot M_k}{d_{sb1}} \quad (4.105)$$

$$F_s = \frac{2 \cdot 4082,75 \cdot 10^3}{80}$$

$$\underline{F_s = 102\,068,75\,N}$$

$$\tau = \frac{F_s}{l \cdot b} \quad (4.106)$$

$$\tau = \frac{102\,068,75}{220 \cdot 22}$$

$$\underline{\tau = 21,09\,MPa} \leq \tau_{Dov}$$

Kde:

$l$  ... délka pera [mm]

$b$  ... šířka pera [mm]

$F_s$  ... smyková síla [N]

$\tau$  ... smykové napětí [MPa]

$\tau_{dov}$  ... dovolené napětí ve smyku [MPa]

### Kontrola na otláčení

$$F_1 = \frac{M_k}{\frac{d_{sb1} - t}{2}} \quad (4.107)$$

$$F_1 = \frac{4082,75 \cdot 10^3}{\frac{80 - 8,5}{2}}$$

$$\underline{F_1 = 114\,202,79\,N}$$

$$P_1 = \frac{F_1}{l \cdot t} \quad (4.108)$$

$$P_1 = \frac{114\,202,79}{220 \cdot 8,5}$$

$$\underline{P_1 = 61,07\,MPa} \leq P_D$$

Kde:

$t$  ... tloušťka pera v hřídeli [mm]

$F_1$  ... tlaková síla [N]

$P_1$  ... tlak [MPa]

$P_D$  ... dovolený tlak, pro pero těsné a ocelový náboj  $P_D = 120$  [MPa] dle [5]

#### Kontrola na otlačení

$$F_2 = \frac{M_k}{\frac{d_{sb1} + t_1}{2}} \quad (4.109)$$

$$F_2 = \frac{4082,75 \cdot 10^3}{\frac{80 + 5,3}{2}}$$

$$\underline{F_2 = 95\,726,85\,N}$$

(4.110)

$$P_2 = \frac{F_2}{(l - b) \cdot t_1}$$

$$P_2 = \frac{95\,726,85}{(220 - 22) \cdot 5,3}$$

$$\underline{P_2 = 91,22\,MPa} \leq P_D$$

Kde:

$t_1$  ... tloušťka pera v náboji [mm]

$F_2$  ... tlaková síla [N]

$P_2$  ... tlak [MPa]

**Pero vyhovuje jak kontrole na smyk, tak kontrole na otlačení.**

#### 4.2.4 Kontrola životnosti ložisek síťového bubnu

Ložisko SKF 22220EK + H320

Požadovaná minimální trvanlivost: 6 let.

Trvanlivost:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad (4.111)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{425 \cdot 10^3}{8565,55}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 17}$$

$$\underline{L_{10h} = 440060187,9 \text{ h}}$$

$$\text{Modifikovaná trvanlivost (dle [4])} \quad (4.112)$$

$$L_1 = a_1 \cdot L_{10h}$$

$$L_1 = 0,21 \cdot 440060187,9$$

$$\underline{L_1 = 92412639,46 \text{ h}}$$

Kde:

$C$  ... základní dynamická únosnost [N] dle [9]

$P$  ... ekvivalentní dynamické zatížení ( $P = R_{AY}$ ) [N]

$p$  ... exponent Wöhlerovy křivky pro ložiska s čárovým stykem [-] dle [4]

$n$  ... otáčky hřídele a síťového bubnu [ $\text{min}^{-1}$ ]

$a_1$  ... součinitel spolehlivosti [-]

#### 4.2.5 Kontrola životnosti ložisek snímacího válce

Ložisko SKF 2211 EKTN9 + H311

Požadovaná minimální trvanlivost: 6 let.

Otáčky snímacího válce

$$i = \frac{D_{sv}}{D_{sb}} \quad (4.113)$$

$$i = \frac{542}{1600}$$

$$\underline{i = 0,34 [-]}$$

$$n_{sv} = \frac{n}{i} \quad (4.114)$$

$$n_{sv} = \frac{17}{0,34}$$

$$\underline{n_{sv} = 50 \text{ min}^{-1}}$$

Kde:

$i$  ... převodový poměr [-]

$n_{sv}$  ... otáčky snímacího válce [ $\text{min}^{-1}$ ]

Trvanlivost:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_{sv}} \quad (4.115)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{39 \cdot 10^3}{2414,53}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 50}$$

$$\underline{L_{10h} = 1404670 \text{ h}}$$

$$\text{Modifikovaná trvanlivost (dle [4])} \quad (4.116)$$

$$L_1 = a_1 \cdot L_{10h}$$

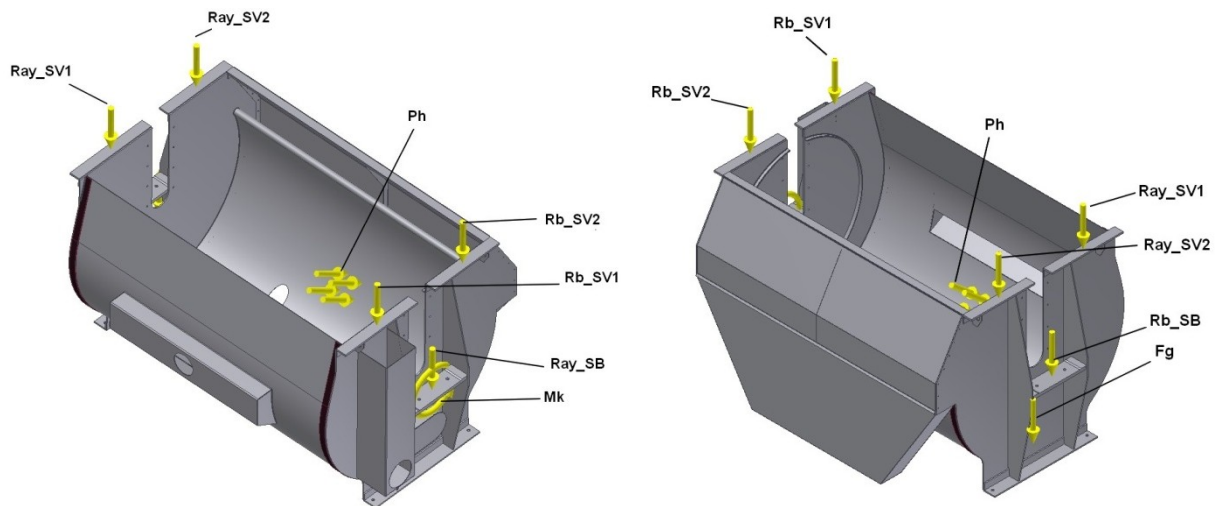
$$L_1 = 0,21 \cdot 1404670$$

$$\underline{L_1 = 294980,7 \text{ h}}$$

**Trvanlivost zvolených ložisek vyhovuje.**

#### **4.2.6 Pevnostní kontrola vany**

Pevnostní kontrola byla provedena pomocí MKP v programu Autodesk Inventor 2012. Pro účely pevnostní analýzy byla konstrukce vany upravena a zjednodušena. Odstraněny byly ty součásti, jenž pro výpočet nejsou podstatné - vstupní a výstupní hrdla, hradítka v přepadové skříni, šrouby, matice atd. Tyto prvky by komplikovaly návrh sítě a stejně tak výpočet samotné analýzy, proto byly ze simulace vyloučeny. Vana je v provozu zatížena následujícími silami:



*Obr. 40 Zatěžující síly vany zahušťovače*

Kde:

$p_h$  ... hydrostatický tlak [MPa]

$M_k$  ... výpočtový krouticí moment ( $M_k = M_R$ ) [N.m]

$R_{b\_SB}$  ... reakce v bodě B síťového bubnu [N]

$R_{ay\_SB}$  ... reakce v bodě A síťového bubnu [N]

$R_{b\_SV}$  ... reakce v bodě B snímacího válce [N]

$R_{ay\_SV}$  ... reakce v bodě A snímacího válce [N]

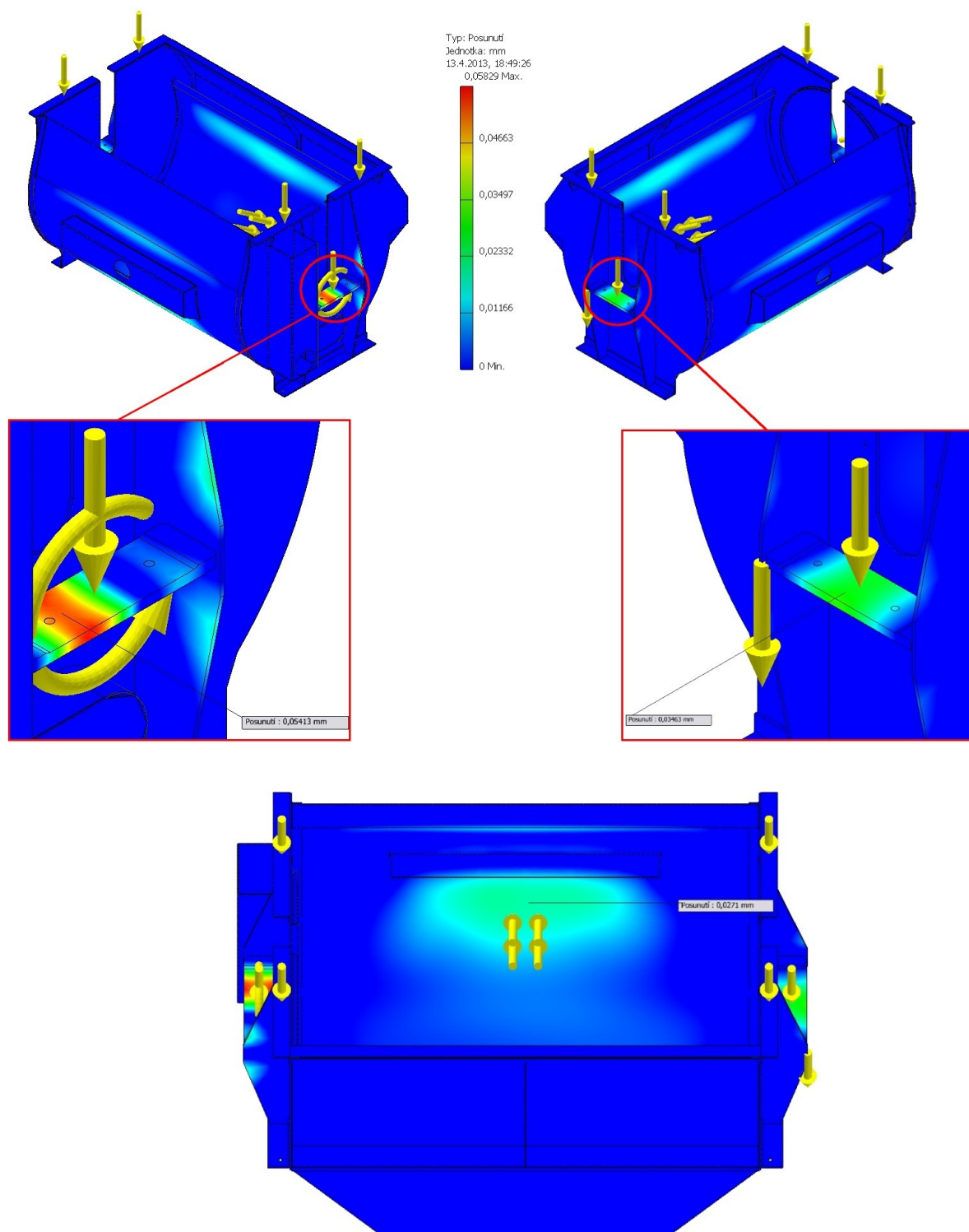
$F_g$  ... gravitační síla [N]

Konstrukce vany je velmi robustní a vzhledem k relativně malému zatížení nelze očekávat vysoké hodnoty napětí či deformace, nicméně i tak není na škodu MKP analýzu provést, už jen pro účely zjištění extrémů napětí např. ve svarových spojích.



### **Deformace vany**

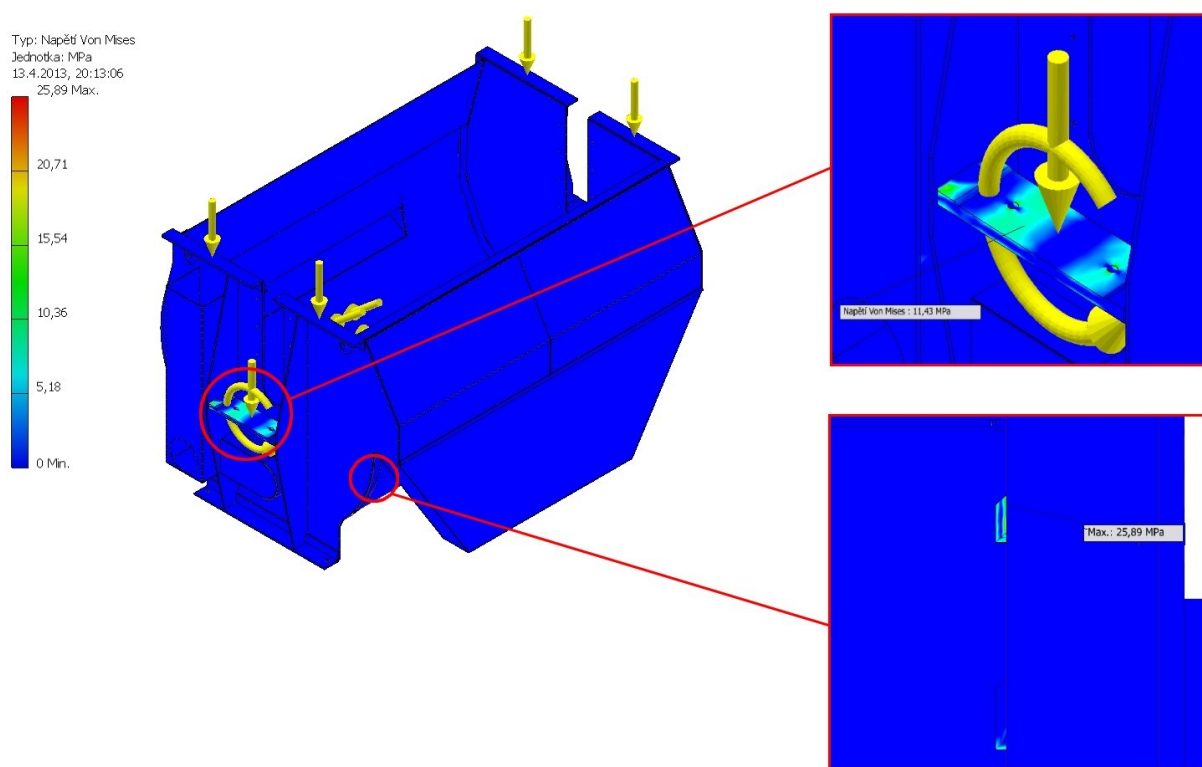
Podle předpokladu je deformace vany velmi malá. Největší hodnoty jsou v místě uložení síťového bubnu, kde působí tíha bubnu, elektromotoru a částečně i síla zachycená momentovým ramenem a to hlavně při rozběhu elektromotoru. Určitá míra deformace je vlivem hydrostatického tlaku pozorovatelná i na plášti vany, který má tloušťku 5 mm.



*Obr. 41 Deformace vany*

### **Napětí na vaně**

Ani napětí na vaně nedosahuje výrazných hodnot. Maximum tvoří napěťové špičky v místě přerušovaného koutového svaru skruže a pláště pece, ale ani tyto hodnoty se ani zdaleka neblíží dovolenému napětí (mezi kluzu)  $R_e = 200$  MPa. Lze tedy říci, že vana konstrukčně vyhovuje.



*Obr. 42 Napětí na vaně*

## **5. Závěr**

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout odvodňovací stroj kruhový, který by vyplnil mezeru ve stávající řadě strojů. Součástí práce byla především kompletní výkresová dokumentace a 3D modely všech součástí stroje a rovněž pevnostní kontrola klíčových částí, jako jsou hřídele síťového bubnu a snímacího válce, ložiska a pero. Celkem se stroj skládá asi z dvou set samostatných dílů a součástí, jejichž výkresová dokumentace byla předána firmě. V průběhu práce na stroji byl postup pravidelně konzultován s konstruktéry z oddělení přípravy látky firmy Papcel aby finální podoba plně odpovídala jejich požadavkům. Například v první fázi návrhu se počítalo s použitím dvou přepadových nádrží pro účinnější odvod odfiltrované vody ze stroje, nicméně po poradě s technologií bylo rozhodnuto, že postačí, když bude použita jen jedna nádrž a bylo tedy nutné přepracovat síťový buben a vanu, neboť tyto součásti byly původně navrženy v zrcadlovém provedení. Větší či menší úpravou nakonec prošly prakticky všechny části zahušťovače.

V samotné diplomové práci byla úvodní část věnována technologii výroby papíru. I přesto, že většina lidí má jisté povědomí o výrobě papíru, rozhodl jsem se co nejstručněji a nejjasněji popsat celý výrobní proces aby si čtenář mohl vytvořit představu o funkci stroje a jeho úloze v procesu výroby a zpracování papírenských pololátek. Při psaní této části práce jsem čerpal především z odborné literatury [11] - [23], kde byl celý postup výroby papíru podrobně popsán a doplněn ilustracemi.

Další část práce (kapitola 3) byla věnována popisu samotného stroje. Byla podobně vysvětlena jeho funkce a princip činnosti a v podkapitolách 3.3.1 - 3.3.5 byly rovněž popsány klíčové části zahušťovače. Text byl doplněn názornými 3D ilustracemi jednotlivých konstrukčních uzlů, které slouží jako doplněk k přiložené výkresové dokumentaci.

Závěrečná a nejrozsáhlejší část práce byla zaměřena na výpočty. Na základě určení jednotlivých momentů pro překonání odporů byl vypočten minimální potřebný výkon elektromotoru a v kapitole 4.2 poté byly provedeny pevnostní výpočty hřídelových čepů snímacího válce a hřídele síťového bubnu. Obě části byly rozděleny na několik nejnebezpečnějších průřezů, přičemž každý z nich byl zkontrolován na ohyb a případně krut. Vypočtené hodnoty použity k určení koeficientů bezpečnosti a všechny výsledky byly zaneseny to shrnujících tabulek. V předposlední části této kapitoly byla vypočtena životnost ložisek snímacího válce i síťového bubnu a rovněž bylo zkontrolováno pero na hřídeli bubnu. Na závěr výpočtové části byla do kapitoly 4.2.5 zanesena ukázka z MKP analýzy vany odvodňovacího stroje.

## 6. Použitá literatura

- [1] LEINVEBER, J.: *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, 1999, ISBN 80-7183-164-6
- [2] Siemens Industry Sector [online].: *Siemens Geared Motors - MOTOX*, poslední revize [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: <<http://178.77.70.233/motox/?LANGUAGE=DE>>
- [3] KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře – části spojovací*. První vydání Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 91 s. ISBN 978-80-248-1290-8
- [4] KALÁB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře – části pohonů strojů*. První vydání Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 130 s. ISBN 978-80-248-1860-3
- [5] NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů, spoje*. Druhé vydání Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008, 111 s. ISBN 978-80-248-1782-8
- [6] FÜRBAACHER I., STEIDL J., MACEK K.: *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty*. Praha: Verlag Dashöfer, 1998-2006.
- [7] HAVLÍK, J.: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. První vydání Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007, 98 s.
- [8] ZELENÝ, J.: *Stavba strojů, strojní součásti*. Brno: Computer Press, 2003, 157 s., ISBN 80-7226-311-0
- [9] SKF ložiska [online].: *Soudečková ložiska*, poslední revize 21. 3. 2007 [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <<http://www.skf.com/files/515077.pdf>>
- [10] SKF ložiska [online].: *Kuličková ložiska*, poslední revize 21. 3. 2007 [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <<http://www.skf.com/files/515051.pdf>>
- [11] DVOŘÁK, P.: *Odvodňovací stroj kruhový*. Brno: Vysoké učení technické v brně, Fakulta strojního inženýrství., 2009, 77 s., Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

- [12] Antalis Group Česká republika [online].: *Výroba papíru*, poslední revize 10. 10. 2012 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <[http://cz.antalis.com/sitesweb/FO/pages/interne-30-66-24311-rich\\_text-122535.html](http://cz.antalis.com/sitesweb/FO/pages/interne-30-66-24311-rich_text-122535.html)>
- [13] ANDRLÍK, K.: *Výroba buničiny, dřevoviny a papíru*. Praha: Technogramy chemického průmyslu, 1947, 8 s.
- [14] BARANOV N. A., DOBROVOLSKIJ D. S.: *Technologie papírenské výroby*. První vydání Praha: SNTL, 1955, 360 s., přeložil Ing. Dr. Jaroslav Páč
- [15] HNĚTKOVSKÝ V. a kol.: *Papírenská příručka*. První vydání Praha: SNTL, 1983, 864 s.
- [16] ČERVENKA K.: *Papírenský stroj*. První vydání Praha: SNTL, 1954, 288 s.
- [17] KORDA J. a kol.: *Papírenská encyklopedie*. První vydání Praha: SNTL, 1991, 472 s. ISBN 80-03-00647-3
- [18] BLAŽEJ A., KRKOŠKA P.: *Technológia výroby papiera*. První vydání Bratislava: Alfa, 1989, 584 s. ISBN 80-05-00119-3
- [19] Měšec.cz [online].: *Jak se vyrábějí bankovky?*, poslední revize 16. 05. 2012 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mesec.cz/clanky/jak-se-vyrabeji-bankovky/>>
- [20] Wikipedia - otevřená encyklopedie [online].: *Buničina*, poslední revize 29. 3. 2012 [cit. 2013-02-10]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Buni%C4%8Dina>>
- [21] Papcel [online].: *Sítová část a odvodňovací prvky*, [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <<http://www.papcel.cz/produkty-pripravna-latky-stroje/papirenske-stroje/stroje/odvodnovaci-prvky-saci-skrine-odvodnovaci-skrine/>>
- [22] Papcel [online].: *Lisová část*, [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <<http://www.papcel.cz/produkty-pripravna-latky-stroje/papirenske-stroje/stroje/lisova-cast/>>

- [23] Papcel [online].: *Technologie příprava látky*, [cit. 2013-02-12]. Dostupné z: <http://www.papcel.cz/o-spolecnosti/o-spolecnosti-vyrobní-program/o-firme-vyrobní-program-technologie-příprava-látky/>
  
- [24] BOLEK, A., KOCHMAN, J. a kol.: *Části strojů - 1. svazek*. Páté vydání, Praha: SNTL, 1989, 775 s., ISBN 80-03-00046-7
  
- [25] BOLEK, A., KOCHMAN, J. a kol.: *Části strojů - 2. svazek*. První vydání, Praha: SNTL, 1990, 712 s. ISBN 80-03-00426-8
  
- [26] DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3
  
- [27] STEHLÍK, J.: *Zdvhací stroje*. První vydání, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 74 s. ISBN 978-80-7372-198-5

## **7. Seznam příloh**

<b>Číslo výkresu</b>	<b>Název součásti</b>	<b>Formát</b>	<b>Počet listů</b>
4265.160.000	Zahušťovač OK-2500	A0	2
4265.160.001	Vana	A0	1
5654.406.000	Sítový buben	A0	1
4265.160.002	Snímací zařízení	A0	1
4265.160.003	Snímací válec	A2	1

### **Poděkování**

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Oldřichovi Učnovi, Ph.D za poskytnuté rady a připomínky při tvorbě diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Papcel a.s. za možnost realizovat u nich tuto diplomovou práci. Nakonec je třeba poděkovat konstruktérům z oddělení přípravny látky, zejména pak panu Ing. Jaroslavu Manovi a slečně Bc. Kateřině Maťové, za poskytnutou podporu a častou konzultaci během celé práce na konstrukci stroje.